

LANÇAMENTO DE AVIÕES DE PAPEL

5, 4, 3, 2, 1 ... PARTIDA!

Alexandre Costa (Escola Secundária de Loulé)
Ana Luísa Gonçalves (Agrupamento de Escolas Dra Laura Ayres)
Paulo Ribeiro (Escola Secundária de Loulé)

LOCAL E DATA DOS LANÇAMENTO:

O lançamento de aviões será realizado, num espaço amplo das escolas parceiras, entre os dias 18 e 22 de abril de 2016.

INTRODUÇÃO

O movimento dos aviões de papel é descrito pela atuação de três forças e pelas Leis de Newton. A figura 1 mostra o diagrama de corpo livre de um avião de papel, em trajetória ascendente, posicionando o peso (\vec{P}), a força da reação normal (\vec{R}_n) e a força de atrito (\vec{F}_a). As forças \vec{R}_n e \vec{F}_a têm origem aerodinâmica, ou seja, na interação com a atmosfera, e dependem da velocidade do ar. A força de atrito está relacionada com a resistência do ar.

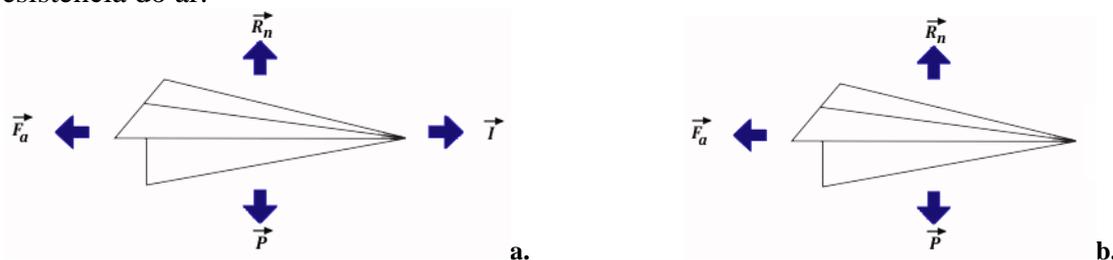


Figura 1: Diagrama de corpo livre de um avião de papel. a. Durante a fase de impulso; b. Durante o voo.

Para o estudo da mecânica do voo dos aviões de papel analisar-se-á, experimentalmente, a trajetória destes aviões. De uma maneira geral, a trajetória de um avião de papel, lançado horizontalmente, com uma velocidade \vec{v}_x , vai obedecer a um comportamento parabólico como o ilustrado na figura 2.

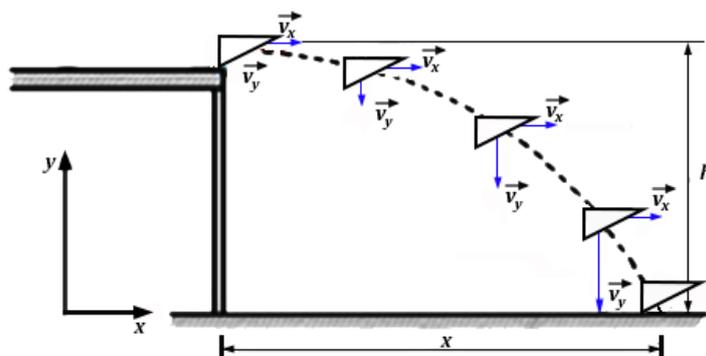


Figura 2: Ilustração do voo num lançamento horizontal de um avião de papel. Logo após o impulso a velocidade apenas tem componente no eixo dos x.

A trajetória descrita na figura 2 é o resultado da ação das forças verticais \vec{P} e \vec{R}_n e da velocidade horizontal inicial, \vec{v}_x . A velocidade vertical \vec{v}_y aumenta de um valor inicial nulo (lançamento horizontal), devido à aceleração vertical \vec{a}_y , causada pela diferença entre \vec{P} e \vec{R}_n . Considerando a força \vec{F}_a desprezável, para os aviões de papel, e, portanto, a velocidade \vec{v}_x constante e igual a \vec{v}_0 , a cinemática explica a trajetória através das equações [1] e [4].

$$\mathbf{a}_x = \mathbf{0} \quad [1]$$

Sabe-se que:

- segundo a componente horizontal tem-se $x = v_0 t$ [2]
- segundo a componente vertical tem-se $y = y_0 - \frac{1}{2} a_y t^2$ [3], em que $y_0 = h$.

Sabendo que, quando o avião chega ao solo se tem $y = 0$, substituindo y na expressão [3], tem-se que:

$$\mathbf{a}_y = 2h \frac{v_x^2}{x^2} \quad [4]$$

Através da equação [4], conhecendo a massa do avião (a massa de uma folha de papel, com o elástico e o clip), o valor da velocidade do lançamento v_0 e medindo os correspondentes valores de h e x , altura do lançamento e alcance, respetivamente, obtêm-se, experimentalmente, o valor da aceleração vertical, que pode ser utilizada para caracterizar o valor da força de reação normal envolvida através da equação [8].

A resultante das forças (\vec{F}_r) apenas tem componente no eixo dos y , já que o atrito é desprezável pelo que vectorialmente se tem

$$\vec{F}_r = \vec{F}_g + \vec{R}_n \quad [5]$$

Ou seja, em intensidades tem-se

$$F_r = F_g - R_n \quad [6]$$

$$m a_y = m g - R_n \quad [7]$$

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{m}(\mathbf{g} - \mathbf{a}_y) \quad [8]$$

Para realizar os lançamentos com os aviões de papel e obter os valores do alcance, da altura e da velocidade de lançamento, utilizar-se-á o modelo representado na figura 3.



Figura 3: Modelo para o lançamento dos aviões de papel

O objetivo do modelo é lançar os aviões, horizontalmente, de modo a que o valor da velocidade de lançamento possa ser, dentro dos condicionamentos existentes, o mais controlado possível. Assim, utilizar-se-á um elástico, que funciona como propulsor do avião, e neste, um clip preso por ação de um agrafe, como o ilustrado no procedimento experimental. O procedimento pretende obter uma estimativa grosseira do valor da velocidade inicial do avião (v_0) a partir do alcance do voo. A precisão desta estimativa está fortemente condicionada pela dificuldade de estabelecer com rigor o ponto de impacto do avião com o solo.

Da equação [3], pode-se inferir que, após lançado, o avião vai atingir o solo ($y = 0$) no instante $t = \sqrt{\frac{2h}{a_y}}$. [9]

Da equação [2], tem-se que $v_0 = \frac{x}{t}$ [10].

Assim, substituindo t da equação [9] na equação [10], tem-se que:

$$v_0 = \sqrt{\frac{g}{2h}} \cdot x \quad [11]$$

Assim, sabendo a altura de lançamento (h), a medida do alcance (x) permite determinar a velocidade de lançamento do lançador (v_0) através da equação [11].

OBJETIVOS DA EXPERIÊNCIA

- Motivar os alunos para o ensino da Física no dia-a-dia, reconhecendo o papel que esta ciência tem;
- Estudar a dinâmica do voo de aviões de papel;
- Construir e interpretar o gráfico do alcance (x) em função do tempo de voo (t), $x = f(t)$;
- Construir e interpretar o gráfico do alcance (x) em função da velocidade inicial $x = f(v_0)$.
- Construir e interpretar o gráfico do tempo de voo em função da velocidade inicial de lançamento $t = f(v_0)$;
- Reconhecer a influência mútua entre a Sociedade, a Ciência e a Educação;
- Promover o espírito de grupo e de partilha entre todos os intervenientes neste processo.

MATERIAL UTILIZADO

- 1 plataforma de lançamento (Régua de medição como o ilustrado na Figura 3);
- 2 elásticos simples;
- 1 Folha de papel;
- 1 clip nº2;
- 1 agrafe nº 24/6;
- 1 agrafador;
- 1 lápis.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

PARTE I - Regras gerais de uniformização. *(vide vídeo de apoio no Twinspace)*

1. A folha de papel é de formato *standard* A4 (297×210mm) e de 80g/m².
2. Os aviões de papel são do modelo *DART* e têm de ser construídos de acordo com o *origami* fornecido.
3. No avião, marcar 7 cm, na parte inferior, a partir do bico para o centro do avião e colocar um clip desdobrado e executar do seguinte modo (Figura 4):



Figura 4 – Clip e agrafe

4. Não é permitido rasgar, colar ou cortar para além do evidenciado em 3.
5. Os aviões têm de ser lançados por um único aluno, sem qualquer ajuda e a partir de uma linha de lançamento marcada na plataforma de lançamento.
6. Os alunos têm de ter os pés assentes no chão, durante o lançamento.
7. Todas as provas devem decorrer num recinto coberto, sem qualquer vento.
8. Não são admitidas acrobacias.
9. Cada aluno só tem direito a uma tentativa.

PARTE II - Dinâmica do voo de aviões de papel e medição experimental do voo de aviões de papel. *(vide vídeo de apoio no Twinspace)*

1. Medir a massa do avião (g).
2. Posicionar a plataforma de lançamento a uma altura de 1,20 m do solo.
3. Posicionar o avião na horizontal, devidamente acoplado ao elástico, e com as pontas dos dedos indicador e polegar segurar na cauda sem tocar nas asas.
4. Esticar o avião, através do propulsor “elástico”, até à marca de 40,0 cm.
5. Proceder ao lançamento do avião.
6. Medir a distância d_2 , em metros, com uma fita métrica, desde o final da plataforma até ao primeiro ponto onde o avião tocar no solo ou em qualquer objeto (ver Figura 5).
7. A medição da distância total, d (que é o alcance x), será efetuada a partir distância da linha de lançamento, (no ponto onde o elástico fica sem tensão) até ao final da plataforma, d_1 , somada à distância d_2 . (na base de dados já consta a medição d_1 , uma vez que a plataforma foi normalizada).
8. Registrar o tempo de voo, com um cronómetro (ms), desde o momento em que o avião de papel sai da mão do aluno até aterrar. Caso embata num objeto deverá ser repetido pois esse ensaio não tem relevância já que o avião não atinge a distância do alcance.

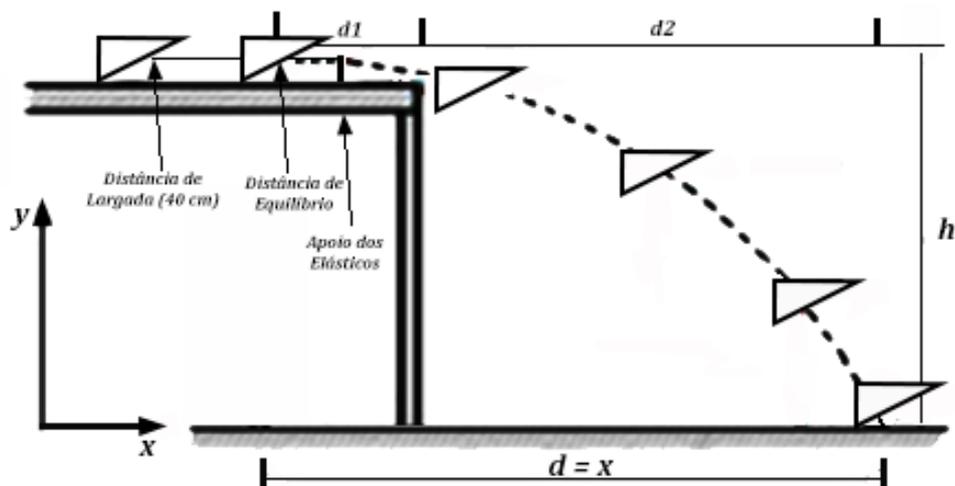


Figura 5. Explicação das distâncias a ser medidas durante os ensaios.

Bónus Extra: Constrói o modelo DART usando uma folha A3 e uma A5 e uma A6. Verifica o que acontece ao alcance. Terás um bónus para o gráfico do alcance em função da área ($x = f(A)$). Considera a área da folha A4 igual a A. Como marcas as áreas dos restantes?

PARTE III – Lançamento livre do avião de papel.

1. Proceder, em conjunto, ao lançamento livre do avião, em recinto aberto, acoplado dois elásticos e um lápis de acordo com a Figura 6.



Figuras 6a e 6b- Lançamento livre do avião de papel.

PARTE IV – Exploração científica

1. Construir e interpretar o gráfico do alcance (x) em função do tempo de voo (t), $x = f(t)$, indicando o significado da razão x/t e verificando se existe alguma regularidade no gráfico.

2. Após a introdução, na base de dados, dos dados registados proceder à análise do gráfico $x = f(v_0)$;
3. Após a introdução, na base de dados, dos dados registados proceder à análise do gráfico $t = f(v_0)$;
4. Proceder à crítica dos resultados e à conclusão.

REGISTO DOS RESULTADOS

Os resultados do alcance (cm) e do tempo de voo (ms), deverão ser registados na base de dados fornecida, a fim de se proceder a uma análise científica dos gráficos obtidos, em particular os gráficos $x = f(v_0)$ e de $t = f(v_0)$;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, D., Heberhardt, S. (2006). *Como os aviões voam*. <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a08.pdf>. Acessível em janeiro 2016)
- Delatorre, R.G., Becker, M.P., Victorette, A.W.D.B., Steffen, B., Mikowski, A., Souza, M.S.K., Soethe, V.L. (2013). *A física no voo de aviões de papel: Uma abordagem prática e experimental para o ensino de física e de conceitos aerodinâmicos*, COBENGE 2013-LXI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Brasil.
- Chen, K., Lai, W. (2013) *Paper Plane Aerodynamics*, Yongchang Qian Advisor, Xiamen Foreign Language School Ed., China. Disponível em ymc.tsinghua.edu.cn:8090/down/1.pdf
- Farnudi, A. (2010). “Paper Planes”, *Journal of the International Association of Physics Students*, n.1, 12. Disponível em www.iaps.info/media/jiaps-2010-1.pdf.
- Henk, T. (1996). *The Simple Science of Flight*, MIT Press, USA.
- Studart, N., Dahmen, S. (2006). *A Física do Voo na Sala de Aula*. <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a07.pdf>. (Acessível em janeiro 2016)
- Johns, R.H. (1971) “Scaling and Paper Airplanes”, *The Physics Teacher*, 9, 541
- Vieyra, R.E., Springer, T., Gipson, L., Werries, M., Schultz, J. (2011). *Aeronautics for Introductory Physics*, Edited by NASA Aeronautics and the American Association of Physics Teachers, USA. Disponível em www.aeronautics.nasa.gov/pdf/aero-intro-physics.pdf.