

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NUM AVIÃO EM VOO PARABÓLICO**  
EXPERIMENTAL ACTIVITIES ON AN AIRPLANE IN PARABOLIC FLIGHT  
ACTIVIDADES EXPERIMENTALES EN UN AVIÓN EN VUELO PARABÓLICO

**José Jorge Teixeira<sup>1</sup> & Armando Assunção Soares<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Agrupamento de Escolas Dr. Júlio Martins, Portugal  
jjsteixeira@gmail.com

<sup>2</sup>ECT-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal

<sup>3</sup>INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal  
asoares@utad.pt

**RESUMO** | O Clube do Ensino Experimental das Ciências (CEEC) tem como principal missão aproximar a ciência aprendida na escola da comunidade local e aprimorar competências experimentais dos alunos. Após o convite da organização *Mentes Empreendedoras* ao coordenador do CEEC para participar num voo parabólico, promovido pela Agência Espacial Portuguesa, foram planificadas, no CEEC, três atividades para serem realizadas durante o voo. Este trabalho tem como principais objetivos: explicar as diferentes fases de um voo parabólico; descrever as atividades realizadas; e apresentar uma análise dos dados recolhidos. Os resultados das atividades mostram que os corpos dentro do avião estiveram sujeitos a acelerações resultantes das várias forças presentes (microgravidade, hipergravidade, gravidade terrestre, gravidade lunar e gravidade marciana) verificando-se a Segunda Lei de Newton para as diferentes acelerações sentidas, no interior do avião. Também foi possível estudar o movimento de uma gota de água sujeita a uma força elétrica, em ambiente de microgravidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microgravidade, Clube de Ciências, Agência Espacial Portuguesa, Ensino não formal, Leis de Newton.

**ABSTRACT** | The main mission of the Experimental Science Teaching Club (CEEC) is to bring the science learnt at school closer to the local community and to improve students' experimental skills. After the *Mentes Empreendedoras* organization invited the CEEC coordinator to take part in a parabolic flight promoted by the Portuguese Space Agency, CEEC planned three activities to be carried out during the flight. The main objectives of this work are: to explain the different phases of a parabolic flight; to describe the activities carried out; and to present an analysis of the data collected. Results of the activities show that bodies inside the airplane were subjected to accelerations resulting from the various forces present (microgravity, hypergravity, terrestrial, lunar and martian gravity) and the Newton's Second Law is verified for the different accelerations felt inside the airplane. Additionally, the movement of a water droplet under an electrical force in microgravity was studied.

**KEYWORDS:** Microgravity, Science Club, Portuguese Space Agency, Non-formal education, Newton's Laws.

**RESUMEN** | La misión principal del Club de Enseñanza de Ciencias Experimentales (CEEC) es acercar la ciencia que se aprende en la escuela a la comunidad local y mejorar las habilidades experimentales de los alumnos. Después de que la organización *Mentes Empreendedoras* invitara al coordinador del CEEC a participar en un vuelo parabólico promovido por la Agencia Espacial Portuguesa, el CEEC planificó tres actividades para realizar durante el vuelo. Los principales objetivos son: explicar las diferentes fases de un vuelo parabólico; describir las actividades realizadas; y presentar un análisis de los datos recogidos. Los resultados muestran que los cuerpos dentro del avión estaban sujetos a aceleraciones resultantes de las diversas fuerzas presentes (microgravedad, hipergravedad, gravedad terrestre, gravedad lunar y gravedad marciana) y la Segunda Ley de Newton se verificó para las diferentes aceleraciones. También se estudió el movimiento de una gota de agua bajo una fuerza eléctrica en un entorno de microgravedad.

**PALABRAS CLAVE:** Microgravedad, Club de Ciencias, Agencia Espacial Portuguesa, Educación no formal, Leyes de Newton.

## 1. INTRODUÇÃO

O Clube do Ensino Experimental das Ciências (CEEC) teve a sua génese em 2006, no contexto do ensino secundário, com o propósito de estreitar laços entre a ciência aprendida na escola e a comunidade local e científica, além de responder ao interesse expresso por um número considerável de alunos em aprofundar conhecimentos experimentais em ciências e tecnologia. Estes conhecimentos estão diretamente relacionados com os conteúdos do ensino formal e as problemáticas locais, nacionais e mundiais (Teixeira & Soares, 2010, 2015; Teixeira, Soares, & Caramelo, 2016; Teixeira, Teixeira & Soares, 2018; Teixeira, Teixeira & Soares, 2019a, 2019b; Teixeira, Teixeira & Soares, 2020). Desde abril de 2022, o CEEC integra a rede nacional de Clubes Ciência Viva na Escola. Neste clube realizam-se atividades semanalmente durante os períodos letivos, e em algumas interrupções letivas, seguindo a cronologia das atividades/projetos do CEEC e o interesse dos alunos. As atividades e projetos desenrolam-se em ambiente não formal, em articulação com o ensino formal, adotando uma metodologia centrada nos alunos. O CEEC apresenta-se como um projeto interdisciplinar, de participação voluntária, aberto às problemáticas da comunidade e às propostas tanto dos alunos como dos professores e propicia a convergência de conteúdos provenientes de diversas áreas científicas (Teixeira, Teixeira & Soares, 2020). Apesar de ser facultativo verifica-se que, desde o ano letivo 2021/2022, todos os alunos do ensino secundário que são alunos do coordenador do CEEC participam, semanalmente, nas atividades/projetos.

Em julho de 2022, o coordenador do CEEC recebeu um convite da organização *Mentes Empreendedoras* para participar no primeiro voo parabólico realizado em Portugal, agendado para o dia 16 de setembro de 2022. Esta experiência singular foi promovida pela Agência Espacial Portuguesa como parte da iniciativa "Zero-G Portugal – Astronauta por um Dia", visando despertar o interesse das gerações mais jovens pelo espaço, através da simulação de ambientes de microgravidade em voos parabólicos. No início de setembro, o coordenador teve a oportunidade de sugerir três atividades experimentais para serem realizadas durante o voo, e que foram sujeitas à aprovação da tripulação da empresa francesa *Novespace*, <https://www.airzerog.com/scientific-research-services/>.

Demonstrando um compromisso inclusivo, o coordenador deu aos alunos do CEEC, que iniciaram o 11.º ano, a oportunidade de apresentarem propostas para as atividades em questão. Estas atividades foram concebidas com o intuito de explorar conceitos, leis, teorias e competências experimentais que os alunos abordaram, no ano letivo anterior, no CEEC e que já estudaram ou vão estudar no ensino formal na área de Física. Das atividades propostas foram selecionadas as seguintes:

- a) Análise da aceleração gravítica no interior do avião e verificação experimental da Segunda Lei de Newton.
- b) Comportamento de gotas de água largadas próximo de um balão eletrizado durante uma manobra de voo parabólico.
- c) Medição da intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro durante uma manobra de voo parabólico.

Assim, este trabalho tem como principais objetivos explicar as diferentes fases num voo parabólico, descrever as atividades realizadas e apresentar uma análise qualitativa e quantitativa dos dados recolhidos, realizada com os alunos no CEEC.

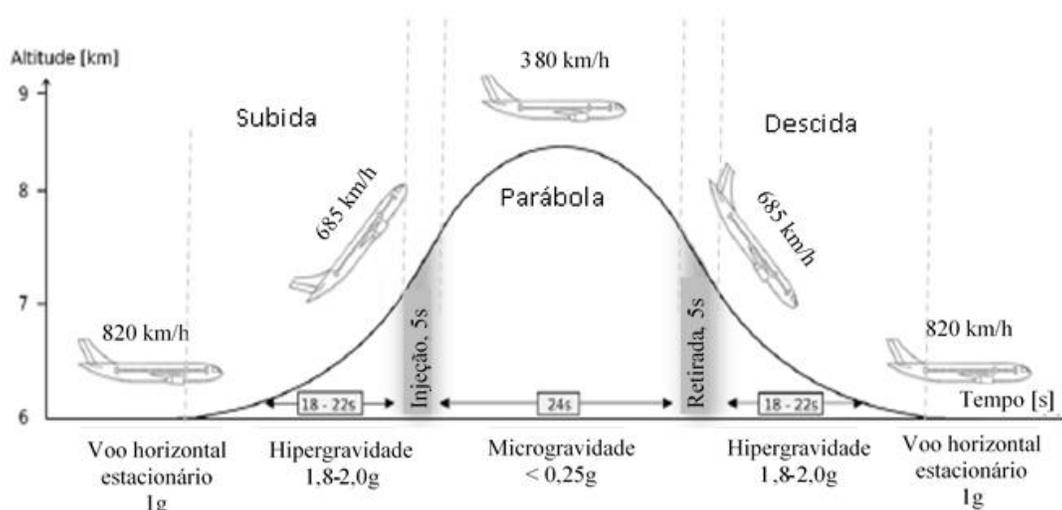
## 2. FUNDAMENTAÇÃO E CONTEXTO

As atividades experimentais referidas tiveram lugar a bordo de um voo parabólico realizado pelo avião Airbus A310, em Beja, Portugal, no ano de 2022. O voo foi realizado no contexto da campanha "Zero-G Portugal – Astronauta por um dia", uma iniciativa promovida pela Agência Espacial Portuguesa (<https://ptspace.pt/pt/home/>). Para além da tripulação de voo, participaram nesta experiência 31 estudantes com idades compreendidas entre os 14 e os 17 anos, o astronauta da Agência Espacial Europeia, Matthias Maurer, e o coordenador do CEEC, entre outros.

Este género de voo caracteriza-se por um tipo específico de trajetória de voo em que o avião segue uma trajetória com uma curva que se assemelha a uma parábola.

O voo parabólico é frequentemente utilizado em várias aplicações, tais como, em testes de aeronaves e equipamentos espaciais, no treino de astronautas e na investigação científica. Os aviões que realizam voos parabólicos são geralmente modificados no interior para proporcionarem, em segurança, períodos curtos de microgravidade ou "gravidade zero" durante a fase da Parábola. Esses voos são importantes para a realização de experiências científicas, uma vez que proporcionam um ambiente de gravidade reduzida que permite estudar fenómenos físicos em condições similares às sentidas pelos astronautas no espaço. Os treinos de astronautas permitem que as tripulações se acostumem às condições de microgravidade e aprendam a realizar tarefas específicas em ambiente de gravidade reduzida (Karmali & Shelhamer, 2008; Pletser, 2020).

Para o avião Airbus A310 realizar a manobra de voo parabólico deve primeiro atingir uma altitude de, aproximadamente, 6 km e uma velocidade de 820 km/h. A esta altitude, após o voo estabilizado, o avião inicia a manobra de subida. A manobra de voo parabólico pode ser dividida em três fases: Subida, Parábola e Descida (Figura 1).



**Figura 1** Representação esquemática do voo parabólico. Figura retirada e alterada de Holubarsch, J., et al. (2019).

Na fase de Subida, partindo do voo horizontal, os pilotos elevam o nariz do avião até atingir um ângulo de ataque de 45-50 graus, em relação à superfície da Terra. Durante cerca de 20 segundos, os passageiros experimentam a hipergravidade, onde o seu peso é 1,8 a 2 vezes

maior do que o seu peso normal na superfície da Terra. Isto é, os ocupantes do avião ficam sujeitos a acelerações superiores à aceleração gravítica normal na superfície terrestre ( $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ ). De seguida, a transição para a fase de Parábola acontece com a manobra de “injeção”, onde o avião adota uma trajetória parabólica, através da redução da velocidade do motor. Durante cerca de 5 segundos o fator de carga vertical varia de  $1,8g$  a  $\sim 0g$ . Na fase de Parábola, simulam-se períodos de microgravidade. Para isso, os pilotos realizam o seguinte procedimento: um piloto ajusta o ângulo de ataque para manter o fator de carga vertical em zero; um segundo piloto mantém o ângulo de rotação em zero (mantendo as asas na horizontal); e o mecânico ajusta a potência dos motores para cancelar o fator de carga longitudinal, compensando o efeito do arrasto (controla a rotação do motor e também monitoriza os parâmetros de voo) (e.g., Pletser & Kumei, 2015; AirZeroG, 2023).

O avião segue então, aproximadamente, uma trajetória balística. A ausência de gravidade começa quando o avião está em “queda livre”, cerca de 20 a 25 segundos, durante a fase de Parábola, enquanto os pilotos mantêm um nível de aceleração próximo de zero nos três eixos para garantir uma precisão de gravidade zero  $\pm 0,02g$  (AirZeroG, 2023).

Finalmente, na fase de Descida o nariz do avião é inclinado cerca de 42 graus para baixo, sendo esta fase simétrica da de Subida. A transição da fase de Parábola para a fase de Descida também dura cerca de 5 segundos. Os pilotos nivelam gradualmente o avião à medida que a rotação do motor aumenta e, mais uma vez, os passageiros experimentam uma aceleração de aproximadamente  $1,8g$  (hipergravidade), durante cerca de 20 segundos, até o avião retornar a um nível de altitude estabilizado (Figura 1).

Tendo em conta a singularidade dos voos parabólicos, estes têm vindo a ser utilizados em atividades educativas envolvendo alunos do ensino superior. Por exemplo, Ockels (1996) destaca que, durante a segunda campanha de voos parabólicos realizada pela Agência Espacial Europeia (ESA) para estudantes, 55 alunos de 11 países conduziram experiências em diversas áreas das ciências, tais como física geral, fluidos, ótica, biologia, tecnologia, entre outras. Matthews et al. (2012) referem que um grupo de alunos de licenciatura da Universidade Politécnica do Estado da Califórnia, participou no Programa *Reduced Gravity* da NASA. Este programa foca-se na resolução de desafios de engenharia de sistemas em microgravidade.

Em Portugal duas equipas de alunos do Departamento de Física da Faculdade de Ciências, da Universidade do Porto, foram selecionadas para participar numa campanha de voos parabólicos. Os projetos apresentados tiveram por finalidade estudar o escoamento de fluidos em condições de gravidade zero e a deteção de fugas de gases em naves espaciais (European Space Agency, 2004).

Partilhamos da opinião de que a temática dos voos parabólicos pode ser incorporada em atividades educativas, nos ensinamentos básico e secundário, e exploradas em clubes de ciências. Por exemplo, quatro estudantes do ensino secundário investigaram formas de fazer agricultura no espaço através de um projeto que foi aprovado para ser testado num voo de baixa gravidade Buckley (2019).

A oportunidade de realizar atividades e analisar dados recolhidos em ambiente de microgravidade possibilita a exploração de conceitos fundamentais de física, tais como microgravidade, aceleração e força, de uma forma prática, envolvente e motivadora. Também

podem ser investigados fenómenos físicos que estimulem o interesse dos alunos pelas áreas de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM).

As próximas subsecções indicam como foram contextualizadas as atividades experimentais, realizadas durante o voo parabólico, tendo por base as aprendizagens essenciais.

## 2.1 Aceleração gravítica no interior do avião e verificação experimental da Segunda Lei de Newton

Durante o voo parabólico os ocupantes do avião estão sujeitos a acelerações decorrentes das várias forças presentes, as quais variam aproximadamente entre  $0g$  e  $1,8g$ . A resultante das forças exercidas sobre um corpo dentro do avião, em cada instante, deve obedecer à Segunda Lei de Newton. Assim, na primeira atividade, pretende-se fazer uma análise da aceleração sentida no interior do avião e verificar se existe uma relação linear entre a resultante das forças exercidas e a aceleração de um corpo.

A atividade “análise da aceleração gravítica no interior do avião e verificação experimental da Segunda Lei de Newton” foi contextualizada com base nas aprendizagens essenciais de Física e Química A do 11.º ano (Ministério da Educação, 2018a) e no manual adotado (Ventura et al., 2022). Destas abordaram-se, no CEEC e no ensino formal, as aprendizagens essenciais que mobilizam as Leis de Newton, principalmente a Lei Fundamental da Dinâmica, e a aprendizagem essencial relativa à determinação experimental da aceleração da gravidade num movimento de queda livre, investigando se depende da massa dos corpos. Do manual adotado realizou-se a atividade indicada na Figura 2, fundamental para os alunos aprenderem a recolher dados, em simultâneo, do sensor de força e do acelerómetro.



**Figura 2** Proposta no manual adotado relativa à obtenção da relação entre a resultante das forças exercidas sobre um corpo com a sua aceleração. Figura retirada de Ventura et al. (2022).

Também foi resolvido e discutido o exercício da Figura 3, relativo à aplicação da Segunda Lei de Newton em referenciais não inerciais em relação à Terra.

34. Uma pessoa de 60 kg está num elevador em cima de uma balança-dinamómetro. Qual é a intensidade da força exercida pela pessoa na balança se o elevador descer:
- 34.1 no arranque, com aceleração de módulo  $4,0 \text{ m s}^{-2}$ ?
  - 34.2 com velocidade constante?
  - 34.3 na travagem, com aceleração de módulo  $4,0 \text{ m s}^{-2}$ ?
  - 34.4 e o seu cabo partir?

**Figura 3** Exercício proposto pelo manual relacionado com a aplicação da Segunda Lei de Newton. Figura retirada de Ventura et al. (2022).

## 2.2 Comportamento de gotas de água largadas próximo de um balão eletrizado

Durante a fase de Parábola do voo, os corpos no interior do avião encontram-se em condições de microgravidade, permitindo assim o estudo do efeito da força eletrostática aplicada numa gota de água, uma vez que, nesta situação, a força gravitacional é pouco significativa.

A atividade “comportamento de gotas de água largadas próximo de um balão eletrizado durante uma manobra de voo parabólico” também foi estruturada tendo por base as aprendizagens essenciais de Física e Química A do 11.º ano e os manuais adotados nos 10.º e 11.º anos. Assim, foi dado destaque à aprendizagem essencial que associa o conceito de força a uma interação entre dois corpos e identifica as interações fundamentais da natureza que, no caso desta atividade, são a força gravítica e a componente elétrica da interação eletromagnética. Também foram abordadas as aprendizagens essenciais relativas à investigação experimental do movimento de um corpo quando sujeito a uma resultante de forças nula e a uma não nula e a resolução de problemas de movimentos retilíneos uniformemente variados (Ministério da Educação, 2018a). O manual adotado, no 11.º ano, apresenta uma subsecção relativa às quatro interações fundamentais da natureza (Ventura et al., 2022). A Figura 4 ilustra, nessa subsecção, uma situação em que as forças elétricas se manifestam e que esteve na génese da escolha desta atividade pelos alunos.



**Figura 4** Figura que ilustra uma situação em que as forças elétricas se manifestam. Figura retirada de Ventura et al. (2022).

Para analisar os dados obtidos nesta atividade, procedeu-se à revisão da construção de gráficos de pontos e à determinação de regressões lineares e quadráticas, e exploraram-se algumas atividades laboratoriais apresentadas nos manuais adotados como, por exemplo, movimento de um corpo sujeito a uma força resultante não nula e nula e movimento vertical de queda e ressalto de uma bola (Ventura et al., 2021, 2022).

### **2.3 Medição da intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro**

Durante o voo parabólico a intensidade da resultante das forças exercidas num corpo, no interior do avião, pode ser medida com um dinamómetro.

A atividade “medição da intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro durante uma manobra de voo parabólico” foi contextualizada com base na aprendizagem essencial de Físico-Química, do 7.º ano, distinguir os conceitos de peso e massa de um corpo, relacionando-os a partir de uma atividade experimental (Ministério da Educação, 2018b). Com esta atividade, pretendia-se fazer uma análise qualitativa dos dados para ser divulgada junto dos alunos do 7.º ano de escolaridade, de forma a estimular a próxima geração a pensar sobre o espaço e as potencialidades da microgravidade.

## **3. DESCRIÇÃO DA PRÁTICA EDUCATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO**

Para articular conhecimentos do ensino formal na área de Física e integrar o voo parabólico nas atividades do CEEC, seguimos a metodologia descrita em Teixeira, Teixeira & Soares (2020). De forma resumida, destacamos os seguintes pontos:

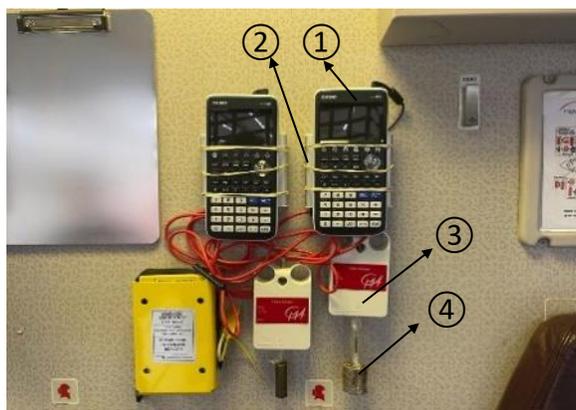
- debate de ideias moderado pelo professor;
- escolha, pelos alunos, das atividades com o objetivo de motivar os alunos para as potencialidades da microgravidade e de promover a criatividade e a exploração de ideias;
- tarefas propostas pelo professor, com o objetivo de orientar e fornecer os conhecimentos necessários à concretização da análise dos dados recolhidos nas atividades experimentais;
- articulação das atividades com o ensino formal/currículo em que o professor desempenha um papel de mediador, enquanto os alunos assumem a responsabilidade pela sua própria aprendizagem;
- análise e tratamento de dados em ambiente não formal;
- apoio individualizado aos alunos que não estejam a atingir os objetivos propostos.

Neste projeto, participaram 15 alunos, da mesma turma, distribuídos por três grupos de cinco alunos com representação dos dois géneros. Cada grupo foi responsável pela análise e tratamento dos dados recolhidos de uma das três atividades. Contudo, os três grupos têm a possibilidade de trocar ideias, fazer sugestões e auxiliarem-se uns aos outros. O desenvolvimento do projeto ocorreu no ano letivo 2022/2023.

Nas próximas subsecções, são descritas as atividades experimentais realizadas durante o voo.

### 3.1 Aceleração gravítica no interior do avião e verificação experimental da Segunda Lei de Newton

Foram montadas duas experiências, em duplicado, no interior do avião com o objetivo de recolher dados sobre a aceleração sentida pelos passageiros e o peso das massas suspensas (Figura 5). Cada experiência consistiu em registar, em intervalos de um segundo, a aceleração e o peso de uma massa suspensa durante as manobras parabólicas. As leituras foram efetuadas utilizando o sistema de aquisição e tratamento de dados da CASIO (calculadora gráfica fx-CG50, CLAB e aplicação *Data Logger*), o acelerómetro de três eixos integrado no CLAB e um sensor de força ligado ao CLAB. O CLAB está ligado a uma calculadora gráfica, na qual está instalada a aplicação *Data Logger* para registo dos dados obtidos.



**Figura 5** Montagem experimental no interior do avião. ① – Calculadora gráfica, ② – CLAB, ③ – Sensor de força, ④ – Massa suspensa.

A opção pelo sistema de aquisição de dados da CASIO foi determinada tendo em consideração que este equipamento é amplamente utilizado pelos alunos nas diversas atividades desenvolvidas no CEEC.

### 3.2 Comportamento das gotas de água largadas próximo de um balão eletrizado

Por razões de segurança, a condução desta atividade foi realizada de forma manual, com o operador devidamente fixado a um dos bancos do avião. Este segurou uma pipeta de Beral, contendo 3 mL de água, numa das mãos, enquanto na outra segurava um balão (previamente insuflado com ar) que fora friccionado no fato de voo (Figura 6).

Durante a manobra de voo parabólico, o operador foi largando gotas de água enquanto o processo foi filmado por um dos elementos da tripulação.

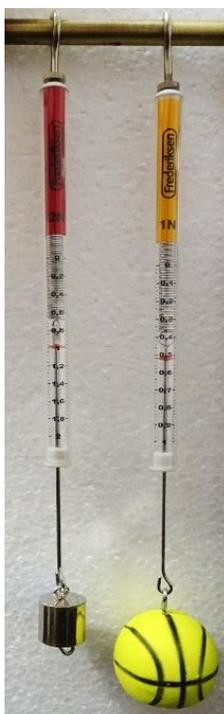


*Figura 6* Procedimento para a execução da atividade das gotas de água.

### **3.3 Medição da intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro**

Por questões de segurança, esta atividade também foi realizada manualmente com o operador preso a um dos bancos do avião. Este segurou em cada uma das mãos um dinamómetro, de alcances 1 N e 2 N, com uma massa suspensa (Figura 7). Como a aceleração varia, aproximadamente, de  $0g$  a  $2g$ , foram escolhidas massas de modo que os valores indicados pelos dois dinamómetros estejam a meio da escala quando o valor da aceleração é  $g$  (antes do voo).

Durante a manobra de voo parabólico o operador apenas teve de segurar os dinamómetros, os quais foram filmados por um dos elementos da tripulação.

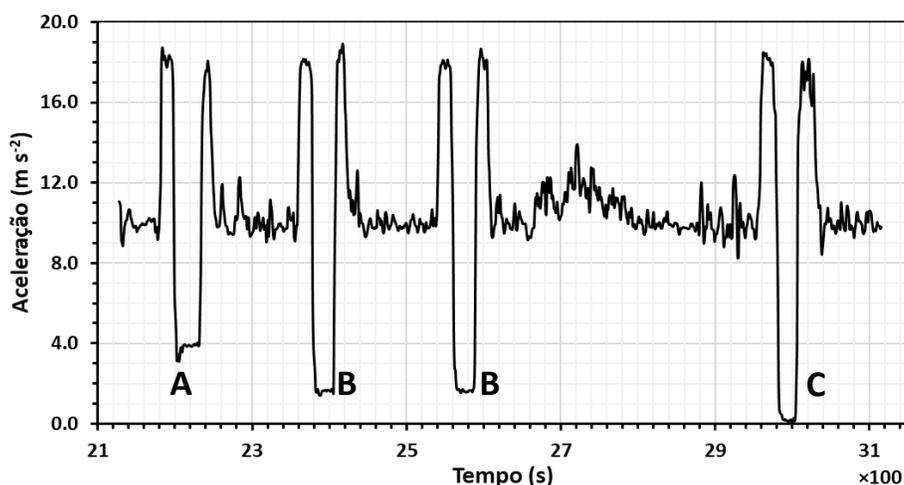


**Figura 7** Material utilizado na medição da intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro durante uma manobra de voo parabólico.

#### **4. AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA PRÁTICA E PRINCIPAIS RESULTADOS**

As atividades aceleração gravítica no interior do avião e verificação experimental da Segunda Lei de Newton, consistiram na análise e tratamento dos dados recolhidos pelo sistema de aquisição da CASIO (calculadora gráfica fx-CG50, CLAB e aplicação *Data Logger*), pelo acelerómetro de três eixos integrado no CLAB e por um sensor de força ligado ao CLAB.

O registo da aceleração no interior do avião permitiu obter o gráfico da aceleração em quatro situações correspondentes a voos parabólicos na fase de Parábola; na primeira Parábola foi simulada a aceleração gravítica em Marte (A), na segunda e terceira Parábolas foi simulada a aceleração gravítica na Lua (B) e na quarta parábola obteve-se a condição de microgravidade (C), Figura 8. A simulação de cada uma das parábolas segue a sequência de voo representada na Figura 1, com o avião a ajustar o ângulo de ataque de acordo com a aceleração gravítica que se pretende simular (*e.g.*, Ritzmann et al., 2015).



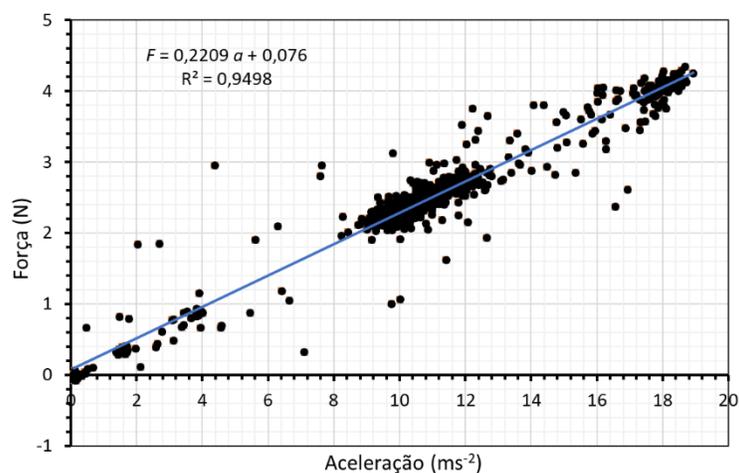
**Figura 8** Aceleração sentida no interior do avião, durante o voo que simulou a gravidade de Marte (A), a gravidade da Lua (B) e a condição de microgravidade (C).

A partir dos valores das acelerações sentidas no interior do avião durante as fases de Parábola para as simulações das acelerações da gravidade em Marte e na Lua, obteve-se o valor médio de  $3,97 \text{ m/s}^2$  para a aceleração de Marte e os valores médios  $1,59 \text{ m/s}^2$  e  $1,62 \text{ m/s}^2$  para a aceleração da gravidade lunar. Comparando com os valores tabelados da aceleração da gravidade em Marte ( $3,71 \text{ m/s}^2$ ) e na Lua ( $1,62 \text{ m/s}^2$ ), obteve-se uma diferença relativa percentual de 7% para a aceleração gravítica em Marte e de 1,9% e 0,0% para a aceleração gravítica na Lua. Estes resultados apresentam uma boa concordância com os valores tabelados e foram calculados a partir da seguinte equação

$$\text{diferença relativa percentual} = \left| \frac{\text{valor medido} - \text{valor tabelado}}{\text{valor tabelado}} \right| \times 100\%$$

No quarto voo parabólico foram criadas as condições de microgravidade com valor médio de  $0,16 \text{ m/s}^2$ .

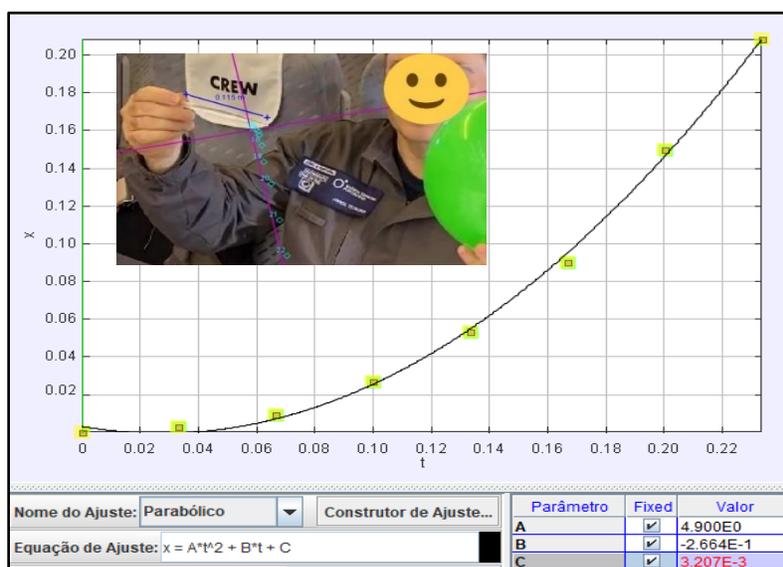
Para a verificação da Segunda Lei de Newton construiu-se o gráfico da força sentida por uma massa de 217,0 g em função da aceleração (Figura 9). Do declive da reta de melhor ajuste retirou-se o valor da massa de 220,9 g. A diferença relativa percentual entre o valor da massa medida e a obtida pelo declive da reta é de 1,8%, pelo que existe uma boa concordância entre os dois valores. A dispersão dos pontos em torno da reta de melhor ajuste pode dever-se à existência de vibrações durante o voo.



**Figura 9.** Força em função da aceleração ao longo do voo parabólico.

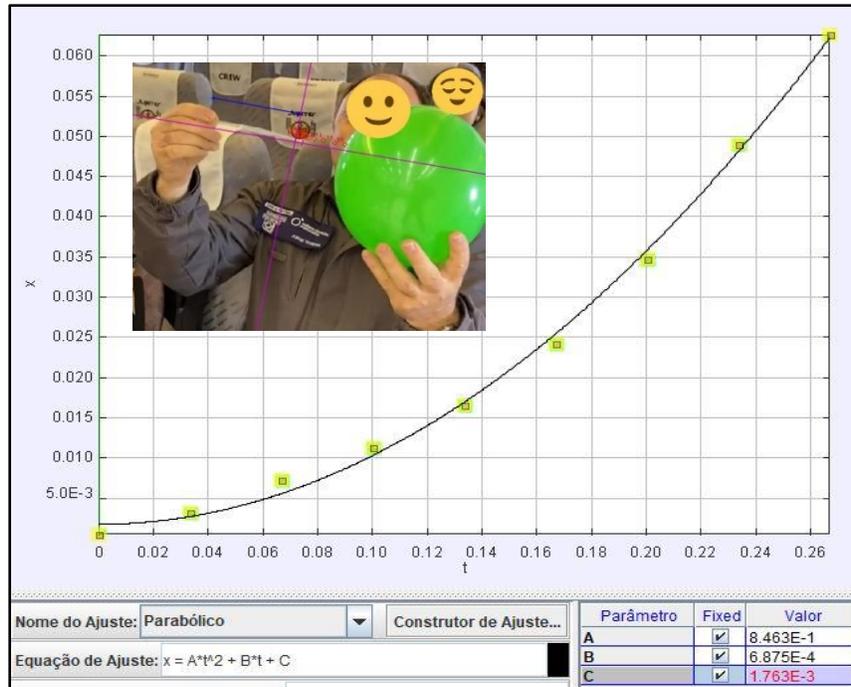
Na atividade do comportamento das gotas de água largadas próximo de um balão eletrizado, os alunos que analisaram os dados desta atividade constataram, através da análise do vídeo enviado pela tripulação de voo, que as gotas de água, ao serem libertadas da pipeta, seguiam uma trajetória que parece horizontal e retilínea quando o avião se encontrava na trajetória de microgravidade. Além disso, foi possível observar que o movimento das gotas é acelerado e que são atraídas pelo balão, aderindo a este. Quando o avião entra na trajetória de hipergravidade, a água solta-se do balão em direção ao chão do avião.

Através do vídeo, os alunos puderam analisar o movimento de duas gotas utilizando a ferramenta gratuita de análise e modelagem de vídeo, o *Tracker*. O movimento da primeira gota ocorreu durante a trajetória horizontal do avião, com a posição de onde a gota sai da pipeta a aproximadamente a 20 cm do balão. Na Figura 10, apresenta-se a análise do movimento desta gota. A partir dos parâmetros da regressão quadrática, determinou-se a sua aceleração, que é o dobro do parâmetro **A** indicado na Figura 10, tendo o valor de 9,80 m/s<sup>2</sup>.



**Figura 10** Análise do movimento vertical de uma gota, na fase da trajetória horizontal do avião, com a ferramenta Tracker.

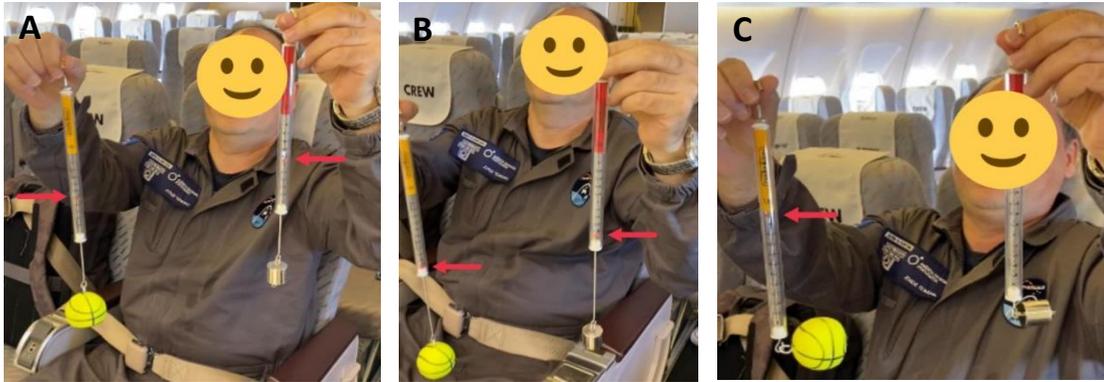
O movimento da segunda gota deu-se durante a fase de microgravidade do avião, com a gota a ser libertada a aproximadamente 7 cm do balão. Seguindo uma abordagem semelhante à da primeira gota, os alunos analisaram o movimento da segunda gota, resultando numa aceleração, no sentido do balão, com um valor de  $1,69 \text{ m/s}^2$  (o dobro do parâmetro **A**), conforme representado na Figura 11.



**Figura 11** Análise do movimento horizontal de uma gota, na fase de microgravidade, com a ferramenta *Tracker*.

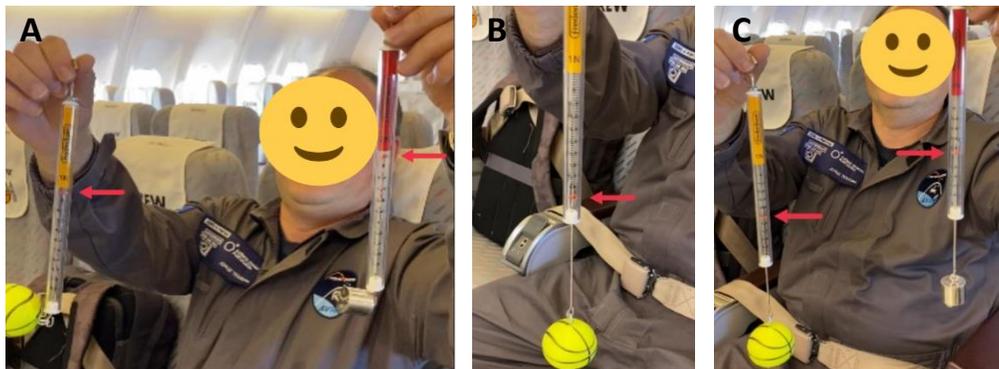
Assim, para o caso experimentado, verificámos que a força gravítica antes de iniciar a manobra de voo parabólico é, aproximadamente, seis vezes superior à força elétrica, tornando clara a influência que o balão eletrizado tem na trajetória do fluxo da água quando está nas suas imediações, conforme ilustra a Figura 4.

Na atividade medição da intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro, constatou-se que, durante o voo horizontal, os valores indicados no dinamómetro situavam-se a meio da escala. As setas vermelhas indicam os valores registados pelos marcadores dos dinamómetros. Esses valores correspondem à aceleração  $g$ , sentida no avião (Figura 12A). Na fase de subida da trajetória (hipergravidade), os valores indicados aumentaram progressivamente até quase atingirem o final da escala dos dinamómetros. Quando atingiram os valores máximos, a aceleração atingiu, aproximadamente,  $2g$  (Figura 12B). Na região ascendente da fase parabólica (microgravidade), as massas ficaram em estado de flutuação, e os valores marcados nos dinamómetros foram, aproximadamente, zero (Figura 12C).



**Figura 12** Valores assinalados pelos dinamómetros (seta vermelha) na primeira metade da trajetória do voo parabólico. A – Voo horizontal, B – Zona de hipergravidade, C – Zona de microgravidade.

Na região descendente da trajetória, observa-se o processo simétrico. Na região de microgravidade (segunda metade da parábola), as massas suspensas continuam a flutuar e os dinamómetros indicam zero newtons (Figura 13A); na zona de hipergravidade, os valores indicados atingem aproximadamente o máximo da escala (Figura 13B); durante o voo horizontal, os valores indicados no dinamómetro situam-se a meio da escala e a aceleração sentida dentro do avião volta a ser aproximadamente  $g$  (Figura 13C).



**Figura 13** Valores assinalados pelos dinamómetros (seta vermelha) na segunda metade da trajetória do voo parabólico. A – Zona de microgravidade, B – Zona de hipergravidade, C – Voo horizontal.

A avaliação da aprendizagem dos alunos durante a realização deste projeto centrou-se nos parâmetros de avaliação das atividades/projetos do CEEC: assiduidade, integração do projeto no ensino formal, desenvolvimento de áreas de competências do Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória (Martins et al., 2017) e partilha do trabalho com a comunidade escolar, local ou científica.

A assiduidade dos alunos foi de 95,0%. O carácter voluntário do CEEC e a elevada assiduidade mostram o interesse dos alunos pelo projeto desenvolvido. A ligação do ensino formal ao projeto esteve sempre presente no CEEC, como é referido na secção 2 deste trabalho. Este foi integrado no ensino formal dos alunos na componente de Física, onde as três atividades acabaram por estar na génese de debates e questões-problema em algumas aulas de mecânica. Os alunos que participaram no projeto não tiveram dificuldades em obter retas e curvas de ajuste aos dados experimentais, tanto nos testes de avaliação quanto nas atividades laboratoriais do ensino formal. Relativamente à partilha do trabalho, foi elaborado um poster, com a participação

de todos os alunos, para o Encontro Nacional Clubes Ciência Viva na Escola de 2023, o qual está exposto na escola. O coordenador do CEEC foi convidado a partilhar o trabalho no Fórum do Sucesso Escolar do Alto Tâmega e Barroso, integrando o painel das práticas pedagógicas diferenciadoras. No dia do Agrupamento está prevista a realização de uma palestra pelos alunos do CEEC para a apresentação de alguns resultados à comunidade escolar e local. Também está prevista uma comunicação no próximo Encontro Ibérico para o Ensino da Física. No que diz respeito às áreas de competências do PASEO, os alunos trabalharam 7 das 10 competências (70%), nomeadamente: linguagens e textos, Informação e comunicação, raciocínio e resolução de problemas, pensamento crítico e criativo, relacionamento interpessoal, desenvolvimento pessoal e autonomia e saber científico, técnico e tecnológico. Destas, aquelas que mais motivaram os alunos foram: o saber científico, técnico e tecnológico que ajudou a compreender a importância e alguma da ciência dos voos de microgravidade; o relacionamento interpessoal abordado nos contextos de cooperação e partilha; e o desenvolvimento pessoal e autonomia na identificação de áreas de interesse ligadas à exploração do espaço, na necessidade de utilizarem novas ferramentas (*Tracker*) e na articulação de conteúdos disciplinares com conhecimentos da comunidade científica.

As atividades realizadas apresentam limitações ao nível das filmagens. Apenas foi possível fazer uma filmagem de cada atividade. Além disso, não tivemos controle sobre o modo como as filmagens foram realizadas. Contudo, apesar de, por vezes, as imagens estarem ligeiramente desfocadas, estas não comprometeram as conclusões obtidas.

## 5. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Os resultados deste trabalho estão de acordo com os valores tabelados das acelerações gravíticas em Marte e na Lua, com os valores da aceleração previstos para o voo parabólico e com a Segunda Lei de Newton.

As atividades realizadas permitiram conciliar o ensino formal com o não formal, aplicar conhecimentos em situações reais do interesse dos alunos, aliar a tecnologia à análise e tratamento de dados experimentais e partilhar o trabalho desenvolvido com vários atores ligados ao sistema educativo (comunidade escolar, comunidade local e participantes em encontros de educação e ciência). Os alunos tiveram a oportunidade de participar em atividades relacionadas com STEM e ganhar experiência com projetos desafiantes. Estas atividades foram utilizadas para motivar os alunos, despertar o interesse pela ciência e engenharia na sala de aula e estimular os alunos a refletir sobre o espaço e as potencialidades da microgravidade. Este projeto está alinhado com as políticas educativas, nomeadamente a promoção do ensino experimental através dos Clubes Ciência Viva e o desenvolvimento das competências indicadas no Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória.

Os resultados deste trabalho têm implicações pelo menos a três níveis. Em primeiro lugar, é altamente recomendável que a Agência Espacial Portuguesa repita a iniciativa de voos em microgravidade nos próximos anos de modo a despertar, pelo menos nos alunos dos ensinos básico e secundário, o interesse pela área STEM ligada à exploração do espaço. Em segundo lugar, destacam a importância da articulação dos conteúdos disciplinares pelos professores, de modo que projetos/atividades capazes de despertar o interesse dos alunos pela ciência possam ser desenvolvidos durante o ensino formal. Finalmente, pelo interesse e empenho demonstrado

pelos alunos, apontam para a necessidade de dar menos peso aos testes e mais ênfase a atividades que aproximem a escola e a ciência da comunidade escolar e científica.

## REFERÊNCIAS

- AirZeroG. (2023, January 4). How Parabolic Flights Work. <https://www.airzerog.com/zero-g-flights-how-it-works/>
- Buckley, D. (2019, May 27). *Students investigating ways of growing crops in space to have project tested on low gravity flight*. <https://www.irishexaminer.com/news/arid-30926789.html>
- European Space Agency. (2004, March 8). *Estudantes de Física do Porto vão voar em Gravidade Zero*. [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Portugal/Estudantes de Fisica do Porto vao voar em Gravidade Zero](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Portugal/Estudantes_de_Fisica_do_Porto_vao_voar_em_Gravidade_Zero)
- Holubarsch, J., Helm, M., Ringhof, S., et al. (2019). Stumbling reactions in hypo and hyper gravity – muscle synergies are robust across different perturbations of human stance during parabolic flights. *Scientific Reports*, 9, 10490. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47091-x>
- Karmali, F., & Shelhamer, M. (2008). The dynamics of parabolic flight: flight characteristics and passenger percepts. *Acta Astronautica*, 63(5-6), 594-602. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2008.04.009>
- Martins, G., et al. (2017). *Perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória*. Ministério da Educação/Direção-Geral da Educação (DGE).
- Matthews, K., Motiwala, S., Edberg, D. L. & García-Llama, E. (2012). Flight mechanics experiment onboard NASA's zero gravity aircraft. *Journal of Technology and Science Education (JOTSE)*, 2(1), 4-12. <https://raco.cat/index.php/JOTSE/article/view/254535>
- Ministério da Educação. (agosto de 2018b). *Aprendizagens essenciais, articulação com o perfil dos alunos. 11.º ano Físico-Química*. [https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens Essenciais/11 fq a.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/11_fq_a.pdf)
- Ministério da Educação. (julho de 2018a). *Aprendizagens essenciais, articulação com o perfil dos alunos. 9º ano Físico-Química*. [https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens Essenciais/3 ciclo/fisico-quimica 3c 7a ff.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/3_ciclo/fisico-quimica_3c_7a_ff.pdf)
- Ockels W. J. (1996). The Second Parabolic Flight Campaign for Students. *ESA Bulletin*, (85), 31-37. <https://www.esa.int/esapub/bulletin/bullet85/ocke85.htm>
- Pletser, V. & Kumei, Y. (2015). Parabolic flights. In D. A. Beysens & J. J. W. van Loon (Eds.), *Generation and Applications of Extra-Terrestrial Environments on Earth* (pp. 61-73). River Publishers.
- Pletser, V. (Ed.). (2020). Aircraft Parabolic Flights: A Gateway to Orbital Microgravity and Extra-Terrestrial Planetary Gravities. In V. Pletser (Ed.), *Preparation of Space Experiments (Ch. 2)*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93464>
- Ritzmann, R., Freyler, K., Weltin, E., Krause, A., & Gollhofer A. (2015). Load Dependency of Postural Control - Kinematic and Neuromuscular Changes in Response to over and under Load Conditions. *PLoS ONE* 10(6): e0128400. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128400>
- Sousa, D., Fernandes, D., Ponte, J., Teixeira, J., Verdasca, J., Gradeço, J., Matos, M., Ramalho, S., Rodrigues, S. & Peralta, S. (2021). Apoio ao Desenvolvimento das Aprendizagens e ao Desenvolvimento Socioemocional e do Bem-Estar durante e pós-Pandemia. DGE/PNPSE | Ministério da Educação. <https://escolamais.dge.mec.pt/sites/default/files/2021-10/RelatorioGrupoTrabalhoDespacho38662021.pdf>
- Teixeira, J. J., & Soares, A. A. (2010). Clube do Ensino Experimental das Ciências: Um Espaço de Educação Não-formal e de Exploração de Atividades Ilustrativas. In A. Anjo (Coord.), *Livro de Resumos do V Encontro Afi* (pp. 27-31). Universidade de Aveiro.

- Teixeira, J. J., & Soares, A. A. (2015). Clube do ensino experimental das ciências: um espaço de promoção de ciência e tecnologia. In M. Gomes, G. Figueira, C. Portela, P. Abreu, & T. Peña (Eds.), *Atas da 19.ª Conferência Nacional de Física e 24.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física* (pp. 183-184). IST Press.
- Teixeira, J. J., Soares, A. A., & Caramelo, L. (2016). Clube do ensino experimental das ciências no agrupamento de escolas Fernão de Magalhães. *Revista Interações*, 11(39), 552-563. <https://doi.org/10.25755/int.8758>
- Teixeira, J. J., Teixeira, L., & Soares, A. A. (2018). Uma proposta metodológica para os alunos gostarem de aprender ciência e tecnologia. In J. B. Lopes, J. P. Cravino, & C. Costa (Eds.), *Relatos e investigação de práticas de ensino de Ciências e Tecnologia (VPCT2018)* (pp. 23-32). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. [https://vpct.utad.pt/wp-content/uploads/2020/02/VPCT2018-Atas-ISBN\\_FINAL\\_compressed.pdf](https://vpct.utad.pt/wp-content/uploads/2020/02/VPCT2018-Atas-ISBN_FINAL_compressed.pdf)
- Teixeira, J. J., Teixeira, L., & Soares, A. A. (2019a). Proposal of a methodology for an active learning in sciences. *Millenium - Journal of Education, Technologies, and Health*, 2(10), 55-60. <https://doi.org/10.29352/mill0210.05.00254>
- Teixeira, J. J., Teixeira, L., & Soares, A. A. (2019b). Centro de Recursos de Atividades Laboratoriais Móveis. In C. Vasconcelos, R. A. Ferreira, C. Calheiros, A. Cardoso, B. Mota, & T. Ribeiro (Eds.), *Livro de Atas: XVIII ENEC | III ISSE* (pp. 469-477). U. Porto Edições. <https://enec2019.fc.up.pt/publicacoes>
- Teixeira, J. J., Teixeira, L., & Soares, A. A. (2020). Ensinar, aprender e divulgar ciência: Do clube de ciências experimentais à criação de um centro de recursos. *APeDuC Revista | APeDuC Journal*, 1(2), 91-106. <https://apeducrevista.utad.pt/index.php/apeduc/article/view/101>
- Ventura, G. Fiolhais, M. & Fiolhais C. (2021). *10F. Física e Química A – 10.º ano. Física*. Texto Editores.
- Ventura, G. Fiolhais, M. & Fiolhais C. (2022). *11F. Física e Química A – 11.º ano. Física*. Texto Editores.