

Por que os astronautas “flutuam”? A representação do princípio da imponderabilidade em experimentos desenvolvidos para o ensino médio

RESUMO

Muitos estudantes saem do ensino médio sem conseguir identificar saberes básicos de física em seu cotidiano, e quando o fazem, na maioria das vezes, não são capazes de transpor este conhecimento a situações distantes do seu dia-a-dia. Assim, apresentamos nesse trabalho uma proposta de desenvolvimento do conceito de imponderabilidade para o ensino médio, por meio da realização de três experimentos: i) em um elevador real, ii) em um elevador em miniatura, construído para ser utilizado por professores em sala de aula e iii) a construção de um experimento que se utiliza de um circuito eletrônico, que visa demonstrar, de forma análoga, os efeitos da imponderabilidade nos astronautas da Estação Espacial. Para isso, passamos por uma breve revisão do conceito de imponderabilidade e uma discussão sobre a experimentação no ensino de física, abordando a importância destas práticas quando preocupadas com o ensino de ciência e da atividade científica. Por fim, sugerimos um procedimento didático contendo estes experimentos, utilizando-se de algumas asserções sobre o ensino do método científico. Desta forma, consideramos que as atividades experimentais, além de serem elaboradas para a compreensão de um determinado conteúdo, devem ser sempre pensadas, sobretudo, no contexto da construção do conhecimento científico.

PALAVRAS-CHAVE: Experimentação. Ensino de Física. Epistemologia.

Leopoldo Gorges

leo.gorges@hotmail.com

0000-0002-8552-4393

Instituto Federal de Santa Catarina,
Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil.

Egon Henrique Dums

egondums@hotmail.com

0000-0002-5585-843X

Instituto Federal de Santa Catarina,
Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil.

Ana Paula Aguiar de Mendonça

apam25@gmail.com

0000-0003-2107-9793

Instituto Federal de Santa Catarina,
Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil.

INTRODUÇÃO

A experimentação faz parte (ou deveria fazer) do cotidiano de todo professor de ciências, sobretudo se o intuito é ilustrar conceitos abstratos em sala de aula. Para Binsfeld e Auth (2011, p. 04) “a experimentação é vista como ferramenta didática para auxiliar na compreensão dos conhecimentos, no sentido de estar significando os conceitos”. A abstração necessária muitas vezes para o entendimento de um determinado tema, pode se tornar um empecilho para uma interpretação clara do assunto ao qual está sendo estudado, sendo necessário outros métodos de abordagem. Assim, a experimentação pode ser uma ferramenta que potencialize o aprendizado significativo do conteúdo exposto.

Não obstante, as aulas de física centradas unicamente em conteúdos no ensino médio, são normalmente encaradas como monótonas e fatigantes, facilitando a dispersão de atenção dos estudantes. De acordo com Delizoicov e Angotti,

[...] as experiências despertam em geral um grande interesse nos alunos, além de propiciar uma situação de investigação. Quando planejadas, [as experiências] constituem momentos particularmente ricos no processo de ensino-aprendizagem (1994, p.22).

Assim, práticas experimentais tornam-se grandes aliadas, tanto para o professor quanto para o aluno, pois normalmente o experimento está atrelado à curiosidade do aluno e esta asserção pode ser introdutória para um aprendizado significativo.

No entanto, encontra-se na literatura o paradigma vigente de pesquisas apontando que o ensino de física, e sobretudo, a experimentação no ensino de física, não demonstra adequadamente o processo de construção do conhecimento científico. E assim, a experimentação que poderia vir a elucidar possíveis abstrações de conteúdos específicos, acaba por negligenciar todo o desenvolvimento que a atividade científica realizou para obter tal compreensão de mundo. É nesse contexto, que muitos autores incentivam práticas experimentais epistêmicas, isto é, com preocupações relativas ao processo de desenvolvimento do conhecimento científico (RAIČIK; PEDUZZI, 2015).

Com o potencial de instigar a curiosidade dos estudantes inerente à experimentação, o professor tem em sua prática uma maior possibilidade de que sua transposição didática seja realizada de forma mais adequada, isto é, que os alunos aprendam exatamente (ou mais aproximadamente) o conteúdo que se quer ensinar. Com essa ferramenta em mãos, entendemos que a intenção de se trabalhar não apenas conteúdos da ciência, mas também sobre ciência, é determinante para um aprendizado de física mais adequado.

Com o intuito de sugerir práticas experimentais preocupadas com o cenário exposto e convidar os professores de física a uma reflexão sobre sua prática experimental, apresentamos a seguir um desenvolvimento do conceito de imponderabilidade por meio da construção de três experimentos, bem como a elaboração de um possível procedimento didático elucidando não só o conteúdo a ser proposto, mas também as discussões epistêmicas que o podem embarcar.

UMA BREVE REVISÃO DO PRINCÍPIO DA IMPONDERABILIDADE

No contexto da educação científica, é possível perceber que existem diversos temas e fenômenos que têm o potencial de estimular a criatividade e tornar o aluno mais ativo no seu processo de aprendizagem. O princípio da imponderabilidade pode ser um exemplo disso, se pensarmos que uma das coisas que ele explica é a natureza da flutuação dos astronautas na Estação Espacial Internacional (*ISS*, em inglês). A imponderabilidade pode ser descrita como a ausência aparente de peso e é evidenciada também na figura 1.

Figura 1 – Stephen Hawking em um avião experimentando os efeitos da queda livre.

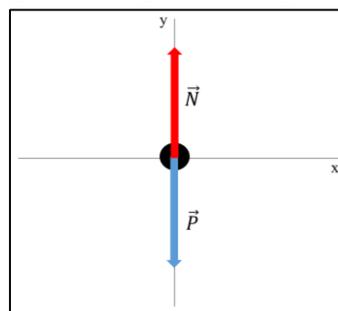


Fonte: Zero Gravity Corporation (2017).

Este fenômeno, que também ocorre na Estação Espacial, foi introduzido conceitualmente por Newton no século XVII, ao se questionar sobre a trajetória de uma bola de canhão que fosse atirada horizontalmente. Ao passo em que se aumentasse a rapidez do disparo, pensou ele, mais distante seria seu alcance. Eventualmente, a bola de canhão atingiria uma velocidade tangencial suficiente para criar um equilíbrio entre a força gravitacional e uma força fictícia de origem inercial (força centrífuga), entrando assim em órbita da Terra (CECCONELLO *et al.*, 2021). Na sequência, demonstraremos analiticamente os motivos do efeito de “flutuação” aparecer nestas condições.

Uma analogia deste fenômeno pode ser representada em um elevador, embora o mesmo não apresente o efeito da gravidade zero. As acelerações iniciais e finais remontam ao observador dentro do elevador uma diminuição e um acréscimo de peso dependendo seu ponto de partida. Na figura 2, pode-se ver um diagrama de corpo livre (DCL) de uma pessoa dentro de um elevador em repouso.

Figura 2 – Diagrama de corpo livre



Fonte: Os autores (2022).

Na situação de equilíbrio, o somatório das forças que atuam no sistema é igual a zero ($\sum \vec{F} = 0$), ou seja, $a = 0$. Na figura 2, o observador estará sujeito a ação de duas forças, sendo uma de campo, dada pela força peso (\vec{P}) e outra de contato, devido a força normal (\vec{N}). Na situação de equilíbrio no plano, \vec{N} assume, em módulo, o mesmo valor de \vec{P} , mas cabe ressaltar que não formam um par ação e reação.

Em um sistema como esse, é comum encontrarmos apresentações da terceira Lei de Newton representando a reação da força peso como sendo a força normal. Isto está incorreto. A Lei da Gravitação Universal de Newton nos coloca que a Terra nos “puxa” ao seu centro, mas que também puxamos a Terra ao nosso centro de massa. Portanto, a reação de uma ação deve ser aplicada no corpo que produz a ação, isto é, na Terra, descredenciando a força normal como sendo reação da força peso.

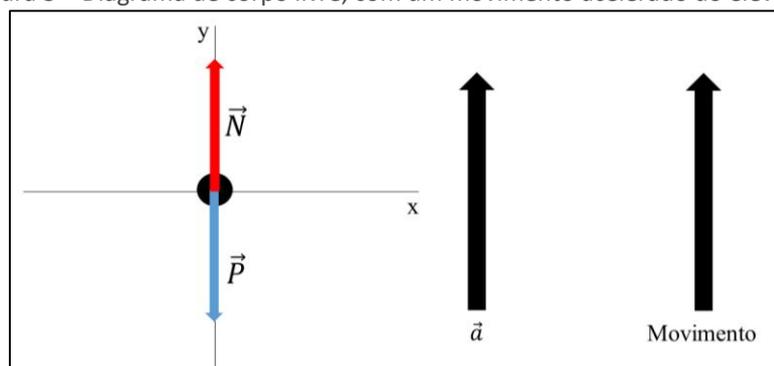
Levando em conta as considerações supracitadas, temos:

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= 0 \\ \sum \vec{F} &= \vec{P} + \vec{N} \\ P - N &= 0 \\ P &= N\end{aligned}$$

Consideremos agora um observador sobre uma balança dentro do elevador e duas situações: elevador acelerando para cima e elevador acelerando para baixo. O observador continuará sobre a ação das forças peso e normal, no entanto, devemos levar em consideração a aceleração do elevador e o sentido desta. A força normal assumirá o papel de “peso aparente”, e seu valor será dado pela leitura da balança multiplicada pela aceleração da gravidade local, uma vez que a balança não registrará o peso de uma pessoa (em Newton), como o senso comum denomina, e sim, a massa (em quilograma).

Para o caso de o elevador entrar em movimento de forma acelerada ($a \neq 0$) para o sentido positivo de y, a força normal terá uma contribuição desta aceleração, sendo $\vec{N} > \vec{P}$, neste caso o DCL se altera, conforme a figura 3.

Figura 3 – Diagrama de corpo livre, com um movimento acelerado do elevador



Fonte: Os autores (2022).

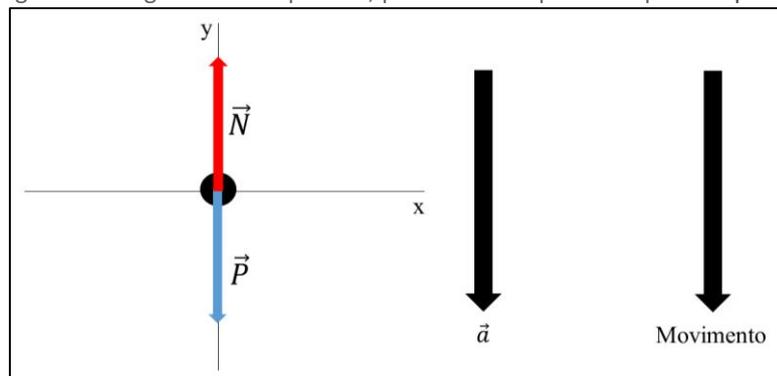
Aplicando a segunda lei de Newton, visto que temos movimento acelerado:

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ \sum \vec{F} &= \vec{P} + \vec{N} \\ N - P &= m \cdot a \\ N &= P + m \cdot a \\ \boxed{N = m \cdot (g + a)} & \quad \text{[Eq. 1]}\end{aligned}$$

Onde \vec{N} e \vec{P} estão em Newton. Neste caso, há aceleração do elevador e, conseqüentemente do observador em seu interior. Portanto, esta aceleração será somada com a aceleração da gravidade e isso possibilita uma sensação de maior peso aparente (HALLIDAY *et al.*, 2008).

Na situação do elevador partir do repouso para o sentido negativo de y , \vec{N} será menor que \vec{P} , pois a aceleração será no sentido contrário a esta. Neste caso o DCL se altera (figura 4), juntamente com seu equacionamento.

Figura 4 – Diagrama de corpo livre, partindo do repouso na parte superior



Fonte: Os autores (2022).

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ \sum \vec{F} &= \vec{P} + \vec{N} \\ P - N &= m \cdot a \\ N &= P - m \cdot a \\ \boxed{N = m \cdot (g - a)} & \quad \text{[Eq. 2]}\end{aligned}$$

Neste caso, há uma subtração da aceleração da gravidade com a aceleração do elevador, o que irá resultar no observador que está dentro do elevador uma sensação mais leve, de diminuição do peso aparente.

Embora este experimento não seja definido pelo princípio da imponderabilidade, pois o mesmo é definido pela ausência do peso aparente e não a diminuição do mesmo, podemos imaginar que a partir do momento em que os cabos do elevador se rompam, o mesmo começa a cair em queda livre, ou seja, a aceleração do elevador é igual a aceleração da gravidade. A representação é expressa da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 \vec{a} &= \vec{g} \\
 \sum \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\
 \sum \vec{F} &= \vec{P} + \vec{N} \\
 P - N &= m \cdot g \\
 N &= P - m \cdot g \\
 N &= m \cdot (g - g) \\
 \boxed{N = 0} & \qquad \text{[Eq. 3]}
 \end{aligned}$$

Os cálculos mostraram que, quando uma pessoa está em queda livre dentro de um elevador (e também dentro de um avião da *Zero Gravity Corporation*) a sua força normal é zero, o que resulta em sua flutuação dentro do estabelecimento.

O mesmo acontece com os astronautas na estação espacial internacional. Orbitando a Terra, estes estão sujeitos a força gravitacional, logo, estão em queda livre. Contudo e diferenciando do experimento com o elevador, a estação espacial tem um movimento retilíneo uniforme com uma velocidade que é tangencial a sua órbita.

A força gravitacional da Terra atuante no satélite está sempre voltada para o centro da Terra, de modo que, se a trajetória é circular (pode ser elíptica), a força será normal à trajetória e pode ser calculada pela expressão $F = mv^2/R$. Como a lei da gravitação universal é dada pela expressão $F = GMm/R^2$, deduz-se que $v = (GM/R)^{1/2}$, onde R é a distância tomada desde o centro da Terra ao satélite, G é a Constante Universal da Gravitação, M é a massa terrestre, m é a massa do veículo, F é a força da gravidade e v a velocidade orbital. Esta expressão nos permite afirmar que em torno de 300 km de altitude um satélite terá uma velocidade próxima de 7,7 km/s ou cerca de 27 mil km/h (REIS *et al.*, 2008, p. 05).

Com essa velocidade orbital v, a Estação Espacial, assim como os astronautas e tudo em seu interior, encontra um equilíbrio entre uma força fictícia de origem inercial (Força Centrífuga) que tende a afasta-los do planeta e a Força Gravitacional que tende a aproxima-los da Terra. Contudo, utilizando a mesma equação acima da Lei da gravitação universal, é possível refutar algo que é erroneamente entendido pela população em geral:

$$F_g = \frac{GMm}{R^2} = mg$$

$$\boxed{g = \frac{GM}{R^2}} \quad \text{[Eq. 4]}$$

Substituindo os valores para massa da Terra $M = 5,98 \times 10^{24}$ kg e o raio da Terra somado com a altura da estação espacial a partir da superfície $R = r_T + h = 6371 + 300$ km na Eq. 4, obtém-se então a aceleração gravitacional de $8,7 \text{ m/s}^2$.

Isto é, embora seja menor que a aceleração gravitacional na superfície, o fato da estação espacial estar mais distante do centro da Terra, ou no “espaço” como comumente propalado, não justifica a flutuação dos astronautas e dos objetos no seu interior. Muito menos remonta a uma microgravidade ou a inexistência de gravidade, pois, como vimos, naquela altura a gravidade possui uma intensidade considerável. O conceito de gravidade zero, então, corresponde diretamente a observadores e/ou objetos em queda livre, seja no exemplo do elevador com os cabos rompidos ou com a estação espacial em equilíbrio gravitacional.

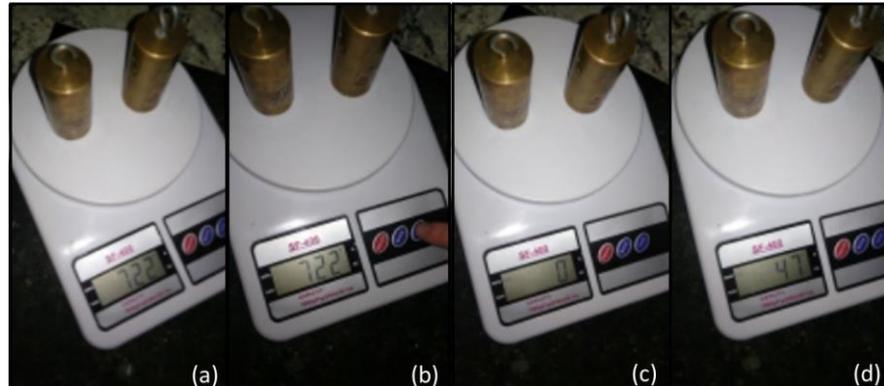
Assim, partindo de um exemplo mais próximo do cotidiano do estudante (o elevador), o professor de física tem a possibilidade de abordar um tema distante do aluno (estação espacial) e também de boa parte da população em geral. A seguir, veremos a construção de experimentos que envolvem a física aqui comentada.

A CONSTRUÇÃO E RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

A experimentação resume-se a três etapas distintas, porém conectadas entre si. Inicialmente, em um elevador de tamanho real, podemos utilizar uma balança comum capaz de medir a massa de uma pessoa ou uma balança de menor capacidade em conjunto com uma massa equivalente. A balança que utilizamos possuía a capacidade de até $7,0$ kg e a massa utilizada foi de $0,722$ kg (figura 5a). Realizamos o experimento no prédio de dois andares do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Jaraguá do Sul – Centro. Após a disposição do conjunto no interior do elevador, a balança foi zerada (ou tarada) para uma melhor visualização (figura 5b-c) e o elevador foi acionado. E então, buscamos gravar com uma câmera quais os efeitos da aceleração do elevador na massa posicionada sobre a balança.

Como resultado, observamos que existiu uma variação significativa em relação à massa original, que após iniciar o movimento do elevador, teve uma variação em torno de $0,047$ kg (figura 5d), obtendo um valor aproximadamente igual, porém com sinal oposto para quando o elevador desacelera próximo ao seu destino. Vale ressaltar que a massa do objeto não variou, a variação em quilogramas que é verificada, é devido a balança demonstrar o valor no display como sendo o peso em Newton dividido pela aceleração da gravidade. Este experimento foi repetido cinco vezes e, utilizando a mesma massa sobre a balança, constatamos o mesmo valor em todas as repetições. Em vista disso, tivemos um cuidado com os erros sistemáticos relacionados, visto que as medidas físicas sempre podem apresentar certo grau de incerteza. Para diminuir tais erros, procura-se manter esta incerteza em níveis toleráveis, possibilitando um resultado analítico final aceitável.

Figura 5 – (a) Em repouso, (b-c) Balança sendo zerada, (d) Variação de peso aparente com o elevador acionado



Fonte: Os autores (2022).

A figura 5 foi adquirida através de um *printscreen* do vídeo realizado, disponível no endereço eletrônico https://www.youtube.com/watch?v=OrP94tLgQ2o&feature=youtu.be&ab_channel=Experimentospmge. Com o vídeo, conseguimos observar ainda que por um breve momento de sua transição, a balança não registra nenhuma massa. Isto se deve ao fato de que neste período, o elevador executa seu trajeto uniformemente.

Utilizando o Princípio Fundamental da Dinâmica, calculamos o valor da aceleração do elevador, que é equivalente a $0,637 \text{ m/s}^2$. Com esta aceleração, foi possível verificar e comparar os valores obtidos experimentalmente e teoricamente, sendo que ambos os valores para a subida e para a descida coincidiram igualmente com a aplicação da mesma. A critério de visualização, o valor do peso do objeto disposto sobre a balança é aproximadamente $7,08 \text{ N}$, sendo assim, com o elevador subindo e descendo seu peso é, respectivamente, $7,53 \text{ N}$ e $6,61 \text{ N}$. Com o valor da aceleração do elevador, é possível calcular o peso aparente para qualquer massa que for disposta dentro do aparato.

Pautamos o segundo experimento na construção de um elevador em miniatura para que se tivesse a possibilidade de levar o experimento para sala de aula. O elevador foi produzido essencialmente com madeira reutilizada. Para a montagem das laterais, utilizamos madeira de pinus em tiras, montando a estrutura com auxílio de parafusos, a qual possui as dimensões totais de $1,15 \text{ m}$ de altura e $0,63 \text{ m}$ de largura.

Com o experimento montado, na parte superior colocamos duas polias com o intuito de suspender as duas prateleiras móveis do elevador, sendo uma a bandeja central e principal que contém uma balança em miniatura com precisão de $0,1 \text{ g}$ e que será responsável por gerar a diferença de peso que esperávamos obter, e a segunda bandeja onde estão colocados os contrapesos que geram o movimento no elevador. Para toda a movimentação, foi utilizado um barbante que está atrelado às duas prateleiras, sendo a bandeja com a balança em uma extremidade e na outra a que possui o contrapeso. Para seu funcionamento, o procedimento é simples: a balança foi posicionada na bandeja principal junto a uma massa e então foram colocados pesos suficientes na bandeja secundária fazendo com que a bandeja principal suba e a balança posicionada demonstrasse uma variação de peso para a massa utilizada. O experimento montado pode ser conferido na figura 6.

Figura 6 – Elevador em miniatura



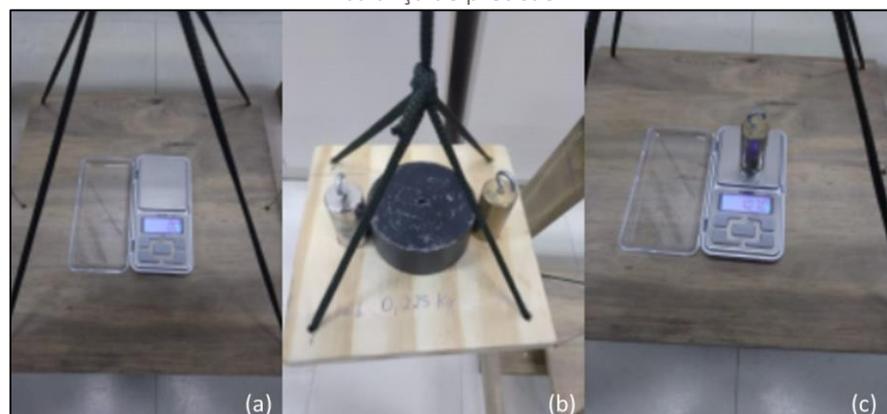
Fonte: Os autores (2022).

Após completa a construção do elevador em miniatura, buscamos mensurar a massa das duas prateleiras móveis a fim de descon siderar esse valor durante os cálculos que se seguiram, simplificando a manipulação matemática do todo. Para este experimento, como descrito anteriormente, utilizamos uma balança com precisão de 0,1 g (figura 7a). Isto se deve ao fato que foi utilizado sobre a mesma uma massa de apenas 0,107 kg, neste caso existindo apenas uma breve variação de peso aparente por se tratar de um valor baixo para massa.

Para contrabalançar e tornar possível o movimento da bandeja principal, a bandeja secundária possuiu uma diferença de massa equivalente a 0,520 Kg (figura 7b).

Considerando que o peso da massa sobre a balança tem valor de aproximadamente 1,05 N (figura 7c) e, ao entrar em movimento devido ao abandono da massa na bandeja secundária, apresenta um valor para a variação de peso da ordem de 0,024 N, sendo este valor obtido experimentalmente.

Figura 7 – (a) Balança de precisão; (b) Massas da bandeja secundária; (c) Massa sobre a balança de precisão



Fonte: Os autores (2022).

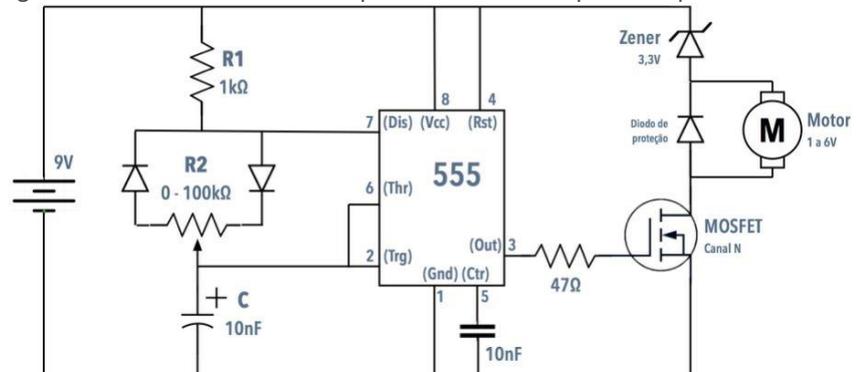
Utilizando a segunda lei de Newton, de forma equivalente à utilizada no elevador em tamanho real, a partir da variação de peso apresentada observamos que a aceleração teórica do elevador nesta configuração corresponde a $0,229 \text{ m/s}^2$, isto se deve ao fato de que esta análise parte somente da variação do peso que está sobre a balança.

Vale ressaltar que os dados obtidos neste experimento, se devem estritamente à configuração de materiais que utilizamos para sua construção e execução. A depender dos materiais utilizados, valores como o momento de inércia das polias, o atrito de modo geral, a precisão da balança e outros aspectos envolvidos, tendem a alterar o resultado obtido. Estes erros sistemáticos são naturais na experimentação em física e decorrem das simplificações ou adequações do modelo teórico utilizado.

Por fim, para fazer uma analogia com o efeito do Princípio da Imponderabilidade, utilizamos um circuito (figura 8) de controle de velocidade de um motor com PWM (Modulação por Largura de Pulso, em português) que utiliza os seguintes componentes:

- Um PWM 555;
- Uma bateria de 9V;
- Um resistor de $1\text{k}\Omega$;
- Um resistor de 47Ω ;
- Um capacitor eletrolítico de 10nF ;
- Um capacitor de cerâmica de 10nF ;
- Um transistor 2N7000;
- Um resistor variável (potenciômetro) de $100\text{k}\Omega$;
- Um motor de 5V (opera com 1 a 6V);
- Um diodo Zener de 3,3V e 1W (1N4728);
- Três diodos de propósito geral (1N4148), em paralelo com motor e em série com R2.

Figura 8 – Circuito utilizado no experimento do Princípio da Imponderabilidade



Fonte: Circuitos Integrados (2017).

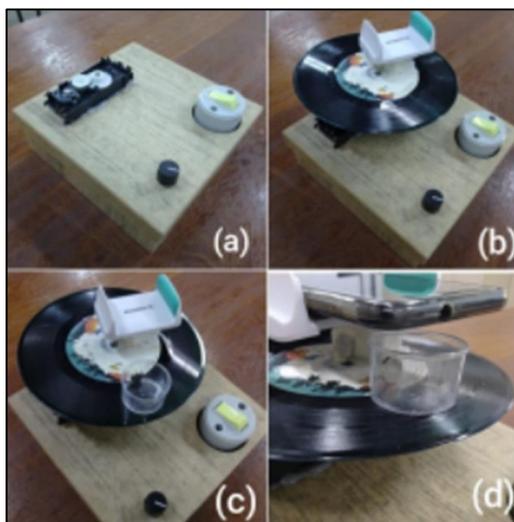
fortemente que acessem o endereço eletrônico presente nas referências de onde tiramos este circuito, pois lá, foi tratado de explicar o funcionamento de cada componente deste e de muitos outros circuitos. O único componente que não consta neste circuito e que adicionamos por critérios de facilidade para ligar e desligar o experimento, foi um interruptor.

Todos esses componentes foram encontrados no laboratório do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus de Jaraguá do Sul – Centro, porém, são facilmente encontrados em lojas de produtos eletrônicos. O motor de 5V é derivado de um drive de CD encontrado no lixo eletrônico do Campus, assim como o seu conjunto de engrenagens (figura 9a).

Por questões estéticas, utilizamos uma caixa de madeira para servir como estrutura do experimento. Foi disposto um disco de vinil na horizontal, acoplado ao conjunto de engrenagens anteriormente mencionado (figura 9b). O intuito de utilizar um circuito variável remota da necessidade de se controlar a variação de energia disposta pela bateria para o motor, que irá resultar no controle de rotação do disco, através do potenciômetro.

Para simular os efeitos que a força gravitacional da Terra realiza nos astronautas da Estação Espacial, utilizamos acima do disco de vinil, um conjunto de dois ímãs de neodímio, no qual o primeiro é posicionado e fixado no centro do disco (simulando a Terra) e o segundo é colocado dentro de um pequeno recipiente disposto a uma distância apropriada do centro do disco (o recipiente simula a Estação Espacial e o ímã simula os astronautas presente em seu interior), para que ainda sofra interação magnética do ímã que está no centro (figura 9c). Para melhor visualização, foi acoplado um suporte de celular também acima do disco, para que se possa gravar o comportamento do ímã no interior do recipiente colocado na periferia do disco (figura 9d). No momento seguinte, o experimento é posto a rotacionar buscando alcançar uma velocidade suficiente para que o ímã se desprenda da parede do recipiente, sendo este comportamento devido ao movimento circular, resultando em uma tendência de sair pela tangente, ou comumente popalado, flutuar.

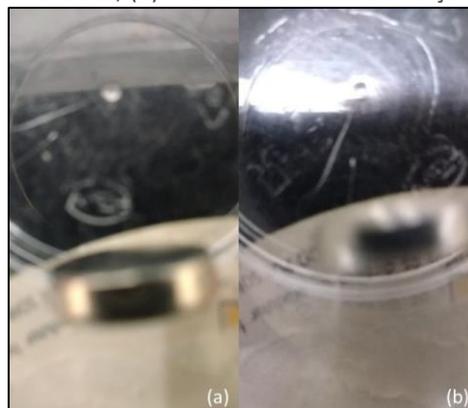
Figura 9 – (a) Conjunto de engrenagem no aparelho; (b) Disco acoplado no conjunto de engrenagens; (c) Um ímã no centro do disco e outro dentro do recipiente na extremidade do disco; (d) Celular alinhado com o recipiente com o ímã em seu interior



Fonte: Os autores (2022).

A figura 10 mostra dois *printscreens* do vídeo realizado pelo celular que ficara preso ao suporte em cima do disco de vinil, (a) quando o disco está parado e (b) quando posto a rotacionar na velocidade suficiente para que o efeito da imponderabilidade pudesse ser perceptível.

Figura 10 – (a) ímã estático, encostado na parede do recipiente pela atração do ímã no interior do disco; (b) ímã com ausência da Força Normal



Fonte: Os autores (2022).

Disponibilizamos o endereço eletrônico do vídeo realizado para a captura destes *printscreens* com o intuito de demonstrar a funcionalidade do experimento (https://www.youtube.com/watch?v=zDWYPq7mTEI&feature=youtu.be&ab_channel=Experimentospmge). Ainda, em vídeo, é possível ver que a sua funcionalidade não é plena devido aos materiais utilizados, resultando num pequeno desbalanceamento do disco em rotação. Mesmo com o controle fino da velocidade de rotação do disco, acreditamos que este seja o motivo do ímã, ao final do vídeo, não permanecer em equilíbrio e sair pela tangente. Contudo, para fins de demonstração do efeito, o resultado mostrou-se satisfatório.

Pode-se inferir neste caso que o experimento é funcional por analogamente mostrar uma situação em que a força normal vai diminuindo até se tornar igual a zero, sendo que este último corresponde ao momento em que o ímã se desloca de sua posição de repouso. Inúmeras alternativas de utilização se fazem presentes neste experimento, por exemplo, é possível alterar a distância entre os ímãs, fator este que altera imediatamente a velocidade de rotação necessária para que o fenômeno aconteça, assim como modificar o próprio conjunto de ímãs se for desejado. A possibilidade de registrar o fenômeno e seu desenrolar ao passo em que se aumenta a velocidade de rotação do experimento é de grande valia para uma visualização clara das causas e consequências que estão relacionadas com o conceito físico apresentado.

ENSINO DE CIÊNCIA E A EXPERIMENTAÇÃO

Notoriamente, teóricos construtivistas enfatizaram a importância do conhecimento prévio do estudante no processo de ensino-aprendizagem. Podemos citar ainda, sobretudo, a instrução da participação ativa dos estudantes em sala de aula, ressaltando a importância da compreensão neste processo (MATTHEWS, 2000) e muitas outras ideias que permitiram um aprimoramento do ensino-aprendizagem.

Os experimentos elaborados neste artigo, por exemplo, podem representar uma ideia bastante progressista de concepções, assim como coloca o teórico construtivista Jerome Seymour Bruner, que, em sua teoria de ensino, diz que respeitando o grau de desenvolvimento do sujeito e colocando o conteúdo de forma com que este tenha possibilidade de assimilá-lo, é possível ensinar qualquer assunto. Além disso, Bruner indica a existência de lacunas que devem ser preenchidas e o uso da descoberta como sendo uma das fontes para o aprendizado, algo que pode ser de grande valia para professores que buscam as práticas experimentais (BRUNER, 1973a).

Ainda, a experimentação que pauta-se na demonstração de conceitos, isto é, que tenha a possibilidade de se comparar os dados obtidos com os já existentes, para Bruner seria “[...] um ciclo compreendendo a formulação de um processo de verificação ou tentativa, a operação deste processo e a comparação dos resultados com determinado critério [...]” (BRUNER, 1973b, p. 57). Desse modo, seria possível o aluno através da experimentação, além de visualizar o conceito, experimentá-lo e também comparar seus resultados obtidos com outros resultados já esperados, sendo possível trazer o conteúdo mais próximo de sua realidade.

No entanto, considerando que as ideias prévias dos estudantes desempenham um papel de destaque no seu processo de aprendizagem e também, que esta se dá através do envolvimento ativo do mesmo, construiu-se um modelo de ensino capaz de explicar a transformação das concepções dos estudantes em conceitos científicos, denominado mudança conceitual. Perspicazmente, Mortimer (1996) aponta que este modelo não necessariamente é o mais adequado para representar o aprendizado de conceitos científicos e instrui o modelo de perfil conceitual, onde coloca que o entendimento sobre o aprendizado de novos conceitos não se dá como uma substituição das concepções antigas, como indica a mudança conceitual, mais sim que ao ser apresentado a um novo conceito, o estudante passa a conviver com suas ideias anteriores e as novas, podendo assim, a depender do contexto, empregar a ideia que lhe é mais conveniente.

Na temática deste artigo, encontramos diversas pesquisas mostrando que os estudantes não compreendem o motivo da flutuação dos astronautas na estação espacial, relatando na maioria das vezes uma possível falta de gravidade (BACCON *et al.*, 2016). Essas concepções alternativas podem indicar que o conhecimento construído exclusivamente pelo estudante, ou seja, o estudante sendo protagonista de sua aprendizagem, não resultará no conhecimento científico, como o modelo evolutivo de mudança conceitual propõe. Ou seja, em algum momento de sua vida o estudante deverá ser apresentado ao conhecimento científico por outrem e assim, o modelo de perfil conceitual se apresentará de forma mais adequada.

Por exemplo, o professor ao levar seus alunos a um elevador real para demonstrar qualitativamente os efeitos da aceleração do mesmo no display de uma balança, poderá notar alguns comentários surpresos, algumas reações que inclusive, nos inspiram. Mas ao voltarem para a sala de aula, nenhum aluno dirá espontaneamente que percebeu que $N = m.(a + g)$. Muito menos correlacionará este fenômeno com o efeito de imponderabilidade nos astronautas na Estação Espacial. É preciso, em algum momento, a apresentação do conhecimento científico aos estudantes para que os mesmos saibam fazer tais correlações.

Assim, acreditamos que nós, professores, devemos ter essa preocupação com o ensino de ciência nas práticas experimentais de forma constante, ainda mais quando projetamos como ideal de ensino-aprendizagem abordagens que considerem os conteúdos como produto da ciência, e sobretudo, relevante a construção do conhecimento que gerou tal compreensão. Não podemos esquecer que a ciência como conhecemos hoje possui mais de dois mil anos de evolução, e seu desenvolvimento passou por inúmeras controvérsias e aprimoramentos, então não podemos esperar que um estudante desenvolva este conhecimento sozinho.

No contexto da experimentação e, especialmente para os experimentos que relatamos neste artigo, é imprescindível que sejam apresentadas algumas ideias sobre ciência para os estudantes. Por possuírem um caráter bastante ilustrativo, estes experimentos devem ser mediados por discussões preocupadas com como chegamos à estas conclusões, caso contrário, poderíamos negligenciar todo o papel de formulação de hipóteses e problematizações que fazem parte da ciência, e o aprendizado que poderia ficar com o aluno é de que a atividade científica se resume à um método ou um roteiro que deve ser rigorosamente seguido, que o conhecimento científico é construído por figuras pontuais, livres de problematizações. Assim, apresentamos a seguir um possível procedimento didático para esta sequência de experimentos, que visa ensinar os conteúdos propostos, assim como alguns elementos do processo de desenvolvimento da ciência.

PROCEDIMENTO DIDÁTICO COMENTADO

A sugestão que propomos a seguir considerou um cenário ideal onde teríamos a disponibilidade de levar os estudantes à um elevador, bem como de termos todos os experimentos à nossa disposição. Para esta aplicação, consideramos quatro aulas de quarenta e cinco minutos cada, onde buscamos direcioná-las com alguns dos apontamentos realizados por Moreira e Ostermann (1993) sobre o ensino do método científico.

Além disso, destacamos como base metodológica inspirada para a presente proposta, a metodologia dos três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti (1994), cuja definição pode ser entendida como: (1º) Problematização Inicial, onde são apresentadas aos estudantes situações reais de seu cotidiano para que o professor possa ir conhecendo suas concepções; (2º) Organização do Conhecimento, onde ocorre a apresentação do conhecimento científico que é necessário para a compreensão e problematização do tema abordado; (3º) Aplicação do Conhecimento, momento em que se destina a abordar sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno. A justificativa desta adesão metodológica a proposta se deve a sua estrutura de ligação entre a realidade direta do estudante com o conhecimento científico, que possibilita extrapolações de fenômenos não tão frequentes em seu cotidiano.

Aula 01

1º momento (30 min.): utilizando um elevador em tamanho real, podemos levar os alunos munidos de uma balança, podendo ser tanto uma balança para medir o próprio peso, quanto uma balança menor para objetos com menor massa. Em grupos de no máximo 3 pessoas, deve-se entrar no elevador e posicionar a balança de modo que ela mostre no leitor algum valor para o peso do objeto. Neste

momento, deve-se então acionar o elevador para que o mesmo suba e então exista a verificação da diferença de peso quando o elevador entra em movimento, assim como ao parar em seu destino. O mesmo pode ser repetido com o elevador descendo.

2º momento (5 min.): ao final da experiência, o professor pode indagar seus alunos sobre quais as possíveis interpretações que os mesmos estipulam para o fenômeno observado, gerando um debate de hipóteses entre alunos com a mediação do professor.

3º momento (10 min.): neste último momento, o professor pode esclarecer para os alunos que todas essas hipóteses levantadas são importantes, que uma teoria formada para descrever aquele fenômeno deve ser confrontada com outra, e aquela que possuir maiores corroborações, neste caso empíricas, poderá se sustentar como um paradigma vigente.

Comentário: quando tratamos de ilustrar algum fenômeno por meio da observação, temos que deixar claro para o estudante que a ciência não é uma descrição da natureza, mas sim um modelo ao qual aplicamos e identificamos possíveis correlações. No terceiro momento desta primeira aula, o professor pode elucidar para os alunos que uma teoria científica não começa da observação e sim que esta é quem está enviesada, repleta de teorias.

Aula 02

1º momento (25 min.): introdução ao conteúdo Leis de Newton utilizando aula expositiva e dialogada. Neste momento podem ser abordados os conceitos referentes às três Leis de Newton, diagramas de corpo livre e alguns tipos de força, como por exemplo a força normal que será necessária para os experimentos posteriores.

2º momento (20 min.): aplicação e ligação do conteúdo proposto com o experimento do elevador exemplificando o motivo da diferença de peso verificada no experimento.

Comentário: o primeiro momento desta aula é referente a apresentação do conteúdo científico, que deve ser interpretado como de igual importância às discussões sobre a atividade científica. Estes, podem ser explorados de uma forma bastante parecida como trouxemos no início deste artigo, pois não demandam de uma física muito densa. No segundo momento, o professor pode trazer algumas características sobre a ciência que se parecem com a atividade desenvolvida na primeira aula. Pode elucidar aos seus alunos, por exemplo, que o cientista não possui uma receita, um método ou um roteiro para operar na ciência, que este encara um constante enfrentamento de ideias e que estas podem se modificar a depender do nível de evidências que estas possuírem. Relembrando com seus alunos do debate que os mesmos fizeram, é importante o professor mostrar que a ciência é uma atividade humana e que carrega todas as nossas características.

Aula 03

1º momento (20 min.): com a proposta de experimento de elevador em miniatura, poderá ser demonstrado aos alunos o cálculo para a diferença de peso que será obtida em sala de aula. O experimento pode ser disposto de uma balança com precisão de 0,1 g e uma massa de aproximadamente 100 g sobre a bandeja do elevador em miniatura. Devem ser colocadas massas na bandeja secundária

para contrabalançar a bandeja central para que exista movimento e então verificar as diferenças de medidas obtidas.

2º momento (25 min): os alunos devem calcular com base nas Leis de Newton, o peso aparente que é a soma ou subtração entre a aceleração do elevador e a aceleração da gravidade para o caso do elevador em miniatura. O professor ainda pode estimular os alunos a calcularem essas diferenças para o caso do elevador real, verificando se a depender da aceleração ou da massa utilizada as diferenças de peso são maiores, iguais ou menores. Para o caso do elevador em miniatura, pode-se utilizar uma massa padrão na bandeja principal para que todos façam os mesmos cálculos. Para o segundo caso, podem utilizar seu próprio peso para descobrir a variação e seu peso aparente.

Comentário: a aula três pode ser explorada pelo professor para que seja discutido, enquanto os alunos fazem seus cálculos, o potencial preditivo que a ciência possui. Que este conhecimento, construído por nós no decorrer de milênios, proporciona na contemporaneidade que o apliquemos e tenhamos uma margem de erro quase que inexistente. E que o desenvolvimento deste conhecimento se dá, principalmente, pelas reformulações do conhecimento prévio, mostrando que a ciência está em constante evolução.

Aula 04

1º momento (20 min.): abordagem do conceito de imponderabilidade e sua aplicação, buscando realizar a correlação com o conteúdo das Leis de Newton estudado anteriormente. O professor pode, sobretudo, indagar seus estudantes quanto ao que aconteceria com o observador no interior do elevador se os cabos do mesmo se rompessem, lembrando os cálculos que seus alunos efetuaram.

2º momento (15 min.): o professor pode aplicar o experimento que simula analogamente o princípio de imponderabilidade na estação espacial, assim como a sua explicação e funcionamento, seguido de discussão com os alunos sobre o fenômeno. Este experimento tem por objetivo a visualização do porquê existe ausência de peso quando se está em um movimento circular ou em uma órbita, por exemplo.

3º momento (10 min.): o professor pode, ao fechamento desta sequência, resgatar as hipóteses e teorias que seus alunos formularam ainda na primeira aula sobre o fenômeno observado no elevador e evidenciar aos seus alunos que, por possuir uma sistemática de autocorreção que perdura há muito tempo, a ciência é o conhecimento construído por nós que mais se aproxima do entendimento que temos da natureza.

Comentário: talvez o grande trunfo do conhecimento científico seja a sua própria característica de sustentar-se na manutenção de seus próprios erros. Hipóteses que não são corroboradas pelas observações, são excluídas gerando outras hipóteses. O motivo de sugestionar que o professor resgate as hipóteses e teorias de seus alunos neste último momento da aula, não surge como intenção de desmerecer a pluralidade de argumentos, mas sim, para demonstrar que em tempos de pós-verdade, na ciência podemos confiar.

O leitor pode indagar-se sobre o cenário idealizado neste procedimento, atentando principalmente ao pouco tempo que o professor normalmente possui em seu cotidiano. Concordamos com isso. No entanto, assim como rotineiramente na física idealizamos uma situação para que possamos criar ou aplicar um modelo

de entendimento ao que está sendo observado, pensamos que talvez no ensino práticas desse gênero possam ser construtivas, uma vez que esta idealização proposta pode servir à outras ramificações a depender do contexto que outros professores se encontram.

Certamente, a atividade de levar seus alunos munidos de uma balança ao elevador e apenas mostrar o que é aquele frio na barriga, já é o suficiente para desencadear inúmeras discussões sobre o fenômeno e também sobre ciência. Não obstante, apenas a apresentação do experimento que demonstra de forma análoga o fenômeno na estação espacial, pode incentivar a curiosidade dos estudantes sobre exploração espacial, astronomia, elétrica, e uma infinidade de conteúdos que podem colaborar à enculturação científica.

Neste sentido, a consciência por parte do professor sobre a importância em se apropriar dos saberes epistemológicos, torna-se impreterível. As realizações de práticas experimentais como um todo, devem sempre estar preocupadas com a visão que o aluno terá de ciência e da atividade científica. Não é apenas possível tornar a ciência mais próxima do estudante, mas é necessário. Acreditamos que o professor tem o potencial requerido para realizar a tarefa de mostrar aos seus alunos que:

[...] a ciência está longe de ser um instrumento perfeito de conhecimento. É apenas o melhor que temos. [...] Uma das razões para o seu sucesso é que a ciência tem um mecanismo de correção de erros embutido em seu próprio âmago [...]. Os seres humanos podem ansiar pela certeza absoluta; podem aspirar a alcançá-la; podem fingir, como fazem os partidários de certas religiões, que a atingiram. Mas a história da ciência - de longe o mais bem-sucedido conhecimento acessível aos humanos - ensina que o máximo que podemos esperar é um aperfeiçoamento sucessivo de nosso conhecimento, um aprendizado por meio de nossos erros, uma abordagem assintótica do Universo, mas com a condição de que a certeza absoluta sempre nos escapará (SAGAN, 2006, p.45).

Os discursos do físico, astrônomo e divulgador científico Carl Sagan, ao falar de atividade científica, refletem muito bem alguns dos apontamentos de importantes epistemólogos do século passado, como Kuhn, Popper e Lakatos (CHALMERS; FIKER, 1993) e podem servir como conscientização da importância de levar a ciência para a sala de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, revisamos conceitos da mecânica newtoniana aplicando-a na construção de três experimentos: o elevador de tamanho real, o elevador em miniatura e a analogia com a estação espacial. Ainda, discutimos a experimentação no ensino de física centrada em questões de conteúdos da ciência e também sobre a própria ciência. Por fim, sugerimos uma alternativa à aplicação destes experimentos na educação básica, propondo discussões que enfatizam a atividade científica e como o conhecimento científico se desenvolve.

A experimentação no ensino de física enfrenta inúmeras dificuldades que vão desde a formação inicial docente, até mesmo à disponibilidade de recursos no cotidiano do professor. Os experimentos desenvolvidos neste trabalho, por serem em sua grande parte construídos com materiais reaproveitáveis, não demandaram um investimento muito grande. O experimento do elevador em miniatura pode ser

adaptado a materiais que possuem uma maior acessibilidade do professor, como por exemplo, garrafas pet servindo de estrutura. Já o experimento que serviu de analogia ao efeito da imponderabilidade na estação espacial, os componentes eletrônicos são facilmente encontrados em qualquer loja de eletrônica, com o valor total do experimento não passando de vinte reais. Ainda, a ideia de utilização do celular como instrumento para gravar o fenômeno, pode incentivar mais práticas voltadas para as tecnologias de informação, e estas são importantes por justamente fazerem parte do cotidiano de muitos estudantes. Para a etapa de aplicação deste procedimento experimental, pensamos que deva ser explorada desta forma a depender do contexto ao qual o professor está inserido, pois como colocamos, a mesma é idealizada.

Por fim, demonstramos que até mesmo as atividades experimentais podem (e acreditamos que devem) ser pensadas no contexto da construção do conhecimento científico. É bastante comum no ensino de física, vemos atividades experimentais centradas na obtenção de dados, na formulação de gráficos e tabelas, sem as devidas contextualizações. Acreditamos que estas práticas dilapidam a imagem que os estudantes obtêm da ciência, ainda mais no contexto da experimentação que, normalmente, instiga a atenção dos estudantes (e sabemos a importância disso para o ensino-aprendizagem). Consideramos ainda que é necessário que o professor possua familiaridade com as discussões sobre epistemologia da ciência, caso contrário, pode contribuir com as concepções alternativas que os estudantes possuem sobre ciência.

WHY DO ASTRONAUTS “FLOAT”? THE REPRESENTATION OF THE WEIGHTLESSNESS PRINCIPLE IN EXPERIMENTS DEVELOPED FOR HIGH SCHOOL

ABSTRACT

Many students leave high school without being able to identify basic knowledge of physics in their daily lives, and when they do, most of the time, they are not able to transpose this knowledge to situations that are distant from their daily lives. Therefore, we present in this work a proposal to develop the concept of weightlessness for high school, through the realization of three experiments: i) in a real elevator, ii) in a miniature elevator, built to be used by teachers in the classroom and iii) the construction of an experiment that uses an electronic circuit, which aims to demonstrate, in a similar way, the effects of weightlessness on space station astronauts. For this, we went through a brief review of the concept of weightlessness and a discussion about experimentation in the teaching of physics, addressing the importance of these practices when concerned with the teaching of science and scientific activity. Finally, we suggest a didactic procedure containing these experiments, using some assertions about teaching the scientific method. Thus, we consider that the experimental activities, in addition to being designed to understand a certain content, should always be thought of, above all, in the context of the construction of scientific knowledge.

KEYWORDS: Experimentation. Physics teaching. Epistemology.

REFERÊNCIAS

BACCON, L.; ROCHA FILHO, J. B. da; LAHM, R. A. Ensino de física por meio de uma aplicação de uma unidade de aprendizagem. **Revista Ciências & Idéias**, Rio de Janeiro (RJ), v.7, n.2, p. 155-168, 2016. Disponível em:

<https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/reci/article/view/489>.

Acesso em: 4 mar. 2022.

BINSFELD, S. C.; AUTH, M. A. A experimentação no ensino de ciências da educação básica: constatações e desafios. *In*: Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, v. 8, p. 1-10, 2011. Disponível em:

http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viiienpec/listaresumos.htm. Acesso em: 4

mar. 2022.

BRUNER, J. S. **O Processo da Educação**. 3ª ed. São Paulo. Nacional. 1973a, p. 87.

BRUNER, J. S. **Uma Nova Teoria de Aprendizagem**. 2ª ed. Rio de Janeiro. Bloch. 1973b. 162 p.

CECCONELLO, R.; PAVINATO, V.; GIOVANNINI, O. ausência de gravidade e estado de imponderabilidade: a concepção de estudantes universitários. **Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia**, São Carlos (SP), n. 31, p. 7–19, 2021.

DOI: 10.37156/RELEA/2021.31.007. Disponível em:

<https://www.relea.ufscar.br/index.php/relea/article/view/522>. Acesso em: 4

mar. 2022.

CHALMERS, A. F.; FIKER, R. **O que é ciência afinal?**. São Paulo: Brasiliense, 1993.

CIRCUITO INTEGRADO. **Circuitos integrados 8: controle de velocidade de um motor com PWM e 555**. [2017]. 1 circuito eletrônico. Disponível em:

<https://eletronicaparaartistas.com.br/circuitos-integrados-8-controle-de-velocidade-de-um-motor-com-pwm-e-555/>. Acesso em: 04 mar. 2022.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia no ensino de ciências**. 2ª edição. São Paulo: Cortez, 1994.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Volume 1: Mecânica, 8.ª Edição. LTC—Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

MATTHEWS, M. Construtivismo e o ensino de ciências: uma avaliação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis (SC), v. 17, n. 3, p. 270-294, 2000.

DOI: 10.5007/%25x. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6761>. Acesso em: 04 mar. 2022.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno catarinense de ensino de física**, Florianópolis (SC), v. 10, n. 2, p. 108-117, 1993. DOI: 10.5007/%25x. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7275>. Acesso em: 04 mar. 2022.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre (RS), v. 1, n. 1, p. 20-39, 1996. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/645>. Acesso em: 04 mar. 2022.

RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro (RJ), v. 8, n. 1, p. 132-146, 2015. DOI: 10.53727/rbhc.v8i1.173. Disponível em: <https://rbhciencia.emnuvens.com.br/revista/article/view/173>. Acesso em: 04 mar. 2022.

REIS, N. T. O.; GARCIA, N. M. D.; SOUZA, P. N. de; BALDESSAR, P. S. Análise da dinâmica de rotação de um satélite artificial: uma oficina pedagógica em educação espacial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo (SP), v. 30, n. 1, p. 1b401, 2008. DOI: 10.1590/S1806-11172008000100011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YchrcQpQ86FZjnzT6j74Sbv/?lang=pt>. Acesso em: 04 mar. 2022.

SAGAN, C. **O mundo assombrado pelos demônios**: a ciência vista como uma vela no escuro. Editora Companhia das Letras, 2006.

Recebido: 27 nov. 2020.

Aprovado: 28 fev. 2022

DOI: 10.3895/rbect.v15n2.13527

Como citar: GORGES, L.; DUMS, E. H.; MENDONÇA, A. P. A. Por que os astronautas “flutuam”? A representação do princípio da imponderabilidade em experimentos desenvolvidos para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.15, p. 1-21, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/13527>>. Acesso em: XXX.

Correspondência: Leopoldo Gorges – leo.gorges@hotmail.com

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

