

DO EMPÍRICO AO TEÓRICO: UM PLANO DE AULA PARA O ENSINO DO PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES NO ENSINO MÉDIO

Marta Maximo Pereira^a [martamaximo@yahoo.com]

^a Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Colégio de Aplicação (UFRJ)

RESUMO

Ainda que vários documentos oficiais sobre educação no Brasil defendam que o desenvolvimento de habilidades e competências deve ser priorizado na aprendizagem de Física, a memorização de fórmulas e sua aplicação na resolução mecânica de exercícios ainda são uma realidade na maioria das aulas de Física das escolas de Ensino Médio. O presente trabalho parte dos objetivos do ensino de Física expressos na *Reorientação Curricular para o Ensino Médio – Ciências da natureza e matemática*, de 2006, da Secretaria Estadual de Educação do Rio de Janeiro (SEE-RJ), para sugerir uma proposta de intervenção em sala de aula que pretende familiarizar os alunos com procedimentos básicos de medidas e registro de dados e estabelecer relações quantitativas entre grandezas físicas de modo mais significativo. Ela foi pensada para inserir-se após a discussão em sala de aula sobre os conceitos de densidade e empuxo e é uma forma de obter, a partir de experimentos, o modelo matemático que descreve a força de empuxo. Para tanto, são realizadas, com a mediação do professor, as seguintes atividades: os pré-requisitos são revisados através de questões abertas propostas no início da aula; os alunos realizam uma seqüência de experimentos, formulam hipóteses sobre os dados obtidos e relacionam resultados; utilizam uma análise dimensional simples e o conceito de densidade para obter o Princípio de Arquimedes; determinam experimentalmente as densidades da água e do óleo a partir do modelo que construíram para a força de empuxo. A aplicação desta proposta em sala de aula é a próxima etapa deste trabalho, a fim de que se possam ter informações que indiquem os efeitos que uma abordagem baseada nos documentos sobre educação de nosso país produz para a aprendizagem de Física no Ensino Médio.

Palavras-chave : empuxo, princípio de Arquimedes, modelo matemático, experiência, Ensino Médio

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o ensino de Física nas escolas brasileiras tem-se restringido ao conhecimento das relações matemáticas que descrevem um fenômeno e à sua aplicação na resolução de exercícios repetitivos e problemas descontextualizados. Tal abordagem valoriza muito mais a resposta correta ao final de uma questão do que os processos através dos quais os alunos constroem significados, conceitos e relações entre as grandezas físicas. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) fornecem um panorama sobre como tem sido ensinar Física em nosso país:

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela

automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas.

Contudo, de acordo com Arons (1997), só há aprendizagem se aos educandos for dado tempo para,

explorar, testar, manipular, conversar e argumentar sobre significados e interpretações, articular hipóteses, chegar a becos sem saída e refazer os passos quando necessário, cometer erros e rever suas visões e interpretações quando levado a perceber contradições (em vez de receber as repostas prontas de forma assertiva ou ainda ouvir que suas idéias estão “certas” ou “erradas”), assim como decidir quando e como cálculos aritméticos devem ser feitos.[tradução nossa]

O presente trabalho visa oferecer uma alternativa à visão tradicional do ensino de Física e propor uma construção do conhecimento que permita ao aluno desenvolver as habilidades mencionadas por Arons (1997) e reconhecer a Física como ciência experimental, que modela matematicamente fenômenos da natureza a partir de observações.

2. OBJETIVOS

De acordo com a *Reorientação Curricular para o Ensino Médio – Ciências da natureza e matemática*, de 2006, da Secretaria Estadual de Educação do Rio de Janeiro (SEE-RJ), os alunos devem desenvolver, durante as aulas de Física, um conjunto de habilidades, como (i) reconhecer que a definição de uma grandeza física não é arbitrária, mas tem sua origem em experiências e idéias prévias; (ii) desenvolver procedimentos básicos de medida e registro de dados; (iii) descrever relações quantitativas entre grandezas físicas; entre muitas outras. Para atender a esse documento, propõe-se uma forma de trabalho para a introdução do Princípio de Arquimedes, a qual consiste em realizar um conjunto articulado de experiências simples, analisar seus resultados e, a partir deles, encontrar o modelo matemático que descreve o empuxo. Tal modelagem servirá também para a determinação experimental da densidade de substâncias, como a água, por exemplo.

3. PROPOSTA DE TRABALHO

Esta proposta de intervenção tem por objetivo possibilitar a obtenção do Princípio de Arquimedes a partir de um processo empírico, que requer dos estudantes medidas e análise de dados. Ela foi pensada para inserir-se após a discussão dos conceitos de densidade e empuxo, de modo que os alunos já saibam que os fluidos exercem forças sobre corpos imersos total ou parcialmente neles, mas não conheçam de que grandezas esta força depende.

Inicialmente, são propostas algumas questões abertas para revisar esses pré-requisitos e motivar a investigação sobre as grandezas relacionadas ao empuxo. Em seguida, é sugerida a realização de um conjunto ordenado de experiências. Este procedimento tem por objetivo auxiliar os alunos a identificar as grandezas físicas e distinguir entre as relevantes para o problema e aquelas que não influenciam a força de

empuxo. Uma vez que os alunos verificam, a partir das observações e dados experimentais, as relações de proporcionalidade existentes entre densidade do fluido e empuxo e entre volume deslocado e empuxo, um processo simples de análise dimensional permite estabelecer o modelo matemático que descreve esta força. De acordo com o documento da SEE-RJ mencionado acima, o estudo desses assuntos e da Hidrostática em geral deve ocorrer no 2º ano do Ensino Médio.

4. FORMA DE TRABALHO EM SALA DE AULA

Para atingir os objetivos desejados, foi construída uma proposta de trabalho que consiste na realização de cinco etapas: revisão de pré-requisitos, atividades experimentais, análise dimensional, comparação com o Princípio de Arquimedes e determinação experimental das densidades da água e do óleo. Todas elas podem ser realizadas em pequenos grupos de alunos.

O professor deve atuar como facilitador destas etapas, resgatando conceitos relevantes, auxiliando na realização dos experimentos, na formulação de hipóteses e conclusões, na manipulação algébrica. Contudo, o aluno deve protagonizar esse processo, interagindo com o material de que dispõe e também com seus colegas.

4.1 Revisão de pré -requisitos

As questões citadas abaixo foram elaboradas a fim de que os alunos mostrem que compreendem e sabem definir conceitos como empuxo e densidade. Elas pretendem também levar os estudantes a pensar sobre de que grandezas a força de empuxo depende. Outras perguntas como estas podem ser pensadas pelos professores a partir da sua realidade e das características específicas de cada turma.

Questões propostas

- O que acontece quando você coloca numa vasilha cheia de água uma bola de chumbo e outra de isopor, ambas com o mesmo volume?
- Por que um navio consegue flutuar no mar mesmo sendo de aço, um material mais denso do que a água?
- O que significa dizer que a densidade do alumínio é aproximadamente $2,7 \text{ g/cm}^3$?
- Na Figura 1, como você explicaria a diferença entre as duas imagens?

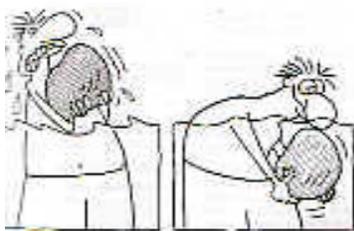


Figura 1. Homem sustentando uma pedra grande no ar e na água (Máximo & Alvarenga, (1997))

- Como você justificaria a seguinte afirmativa: “A vantagem do exercício na água é o baixo impacto, que não força joelhos e a coluna.”

Fonte: <http://www.hidrogenastica.com.br/index1.htm> (em 18/05/08)

4.2 Atividades experimentais

A seqüência de experimentos descrita a seguir pretende levar o aluno a identificar as grandezas relevantes para a descrição da força de empuxo e a verificar as relações que se estabelecem entre elas e esta força.

Todas as atividades serão realizadas com o seguinte conjunto de materiais: dinamômetro, proveta graduada, 2 cilindros de mesmo volume (um de alumínio e outro de latão), 1 cilindro de alumínio com a metade do volume dos outros dois, água e óleo.

1. Identificação do empuxo

Objetivo: verificar a existência da força de empuxo em objetos imersos em um fluido.

Procedimento: os alunos devem medir os pesos dos objetos e também a indicação no dinamômetro quando eles estão submersos totalmente no fluido, registrando os valores numa tabela. A partir dos pré-requisitos que possuem, analisam as forças que atuam no objeto submerso preso ao dinamômetro (Figura 2), escrevem a condição de equilíbrio ($T + E = P$) e explicam os dados obtidos.

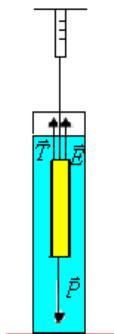


Figura 2. Diagrama das forças (peso (**P**), tensão (**T**) e empuxo (**E**)) que atuam no objeto

2. Relação entre densidades

Objetivo: verificar a relação entre as densidades da água e do óleo

Procedimento: os alunos colocam um pouco das duas substâncias no interior da proveta graduada e observam o que acontece.

A partir dos pré-requisitos que possuem, os alunos facilmente argumentam que o óleo flutua e na água porque é menos denso que ela.

3. O empuxo e diferentes materiais

Objetivo: verificar a relação entre as forças de empuxo que atuam sobre dois objetos idênticos, porém constituídos de materiais diferentes, imersos num mesmo fluido.

Procedimento: os alunos colocam dentro da água o cilindro maior de alumínio conectado ao dinamômetro e medem o valor da força registrado. Repetem este procedimento para o cilindro de latão. (Figura 3)

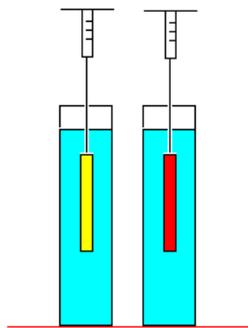


Figura 3. Dois objetos idênticos, mas feitos de materiais diferentes, imersos num mesmo fluido

Os alunos devem anotar na tabela os valores obtidos e utilizar a condição de equilíbrio determinada na experiência 1 para relacioná-los com os dados anteriores e determinar o empuxo para cada um dos objetos, completando a tabela.

Com o controle das variáveis densidade do fluido e volume de fluido deslocado, verificam que o empuxo é o mesmo nos dois cilindros e são levados a concluir:

O empuxo não depende do material de que é feito o objeto imerso no fluido.

O professor deve relembrar aos alunos que uma propriedade que caracteriza os materiais é a sua densidade. Logo, como o empuxo é o mesmo nos objetos de alumínio e latão, a densidade do material que constitui o corpo não deve ser uma grandeza relevante para a determinação do empuxo sobre ele.

4. O empuxo e diferentes volumes

Objetivo: verificar a relação entre as forças de empuxo que atuam sobre dois objetos imersos num mesmo fluido e constituídos de um mesmo material, porém com volumes diferentes.

Neste ponto, controla-se a variável densidade do fluido e já se assume que a densidade do objeto submerso, conforme a prática anterior, não contribui para o empuxo.

Procedimento: os alunos colocam o cilindro menor de alumínio preso ao dinamômetro dentro da proveta com água e medem a força registrada e o volume de fluido deslocado com a colocação do objeto (Figura 4). Este procedimento deve ser repetido para o cilindro de latão e os valores devem ser registrados na tabela.

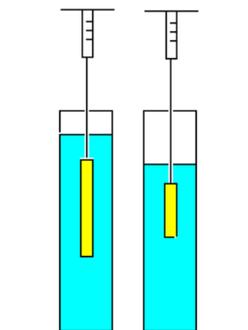


Figura 4. Dois objetos feitos de mesmo material, mas com volumes diferentes (um cilindro tem o dobro de volume

do outro), imersos num mesmo fluido

Novamente serão utilizados os dados e a condição de equilíbrio obtidos na experiência 1 para o cálculo do empuxo, cujo valor também deve ser anotado na tabela. Analisando os valores do empuxo e do volume de fluido deslocado, os alunos podem observar que o empuxo depende do volume de fluido deslocado pela colocação total ou parcial do objeto dentro do fluido.

Como um cilindro tem a metade do volume do outro, os alunos devem observar que o empuxo sobre o cilindro menor é a metade do empuxo sobre o maior. Logo, os alunos podem concluir:

O empuxo E depende do volume de fluido deslocado V_{desl} e estas grandezas são diretamente proporcionais.

Ou seja:

$$E \propto V_{desl} \quad (1)$$

5. O empuxo e os fluidos

Objetivo: verificar a relação existente entre as forças de empuxo que atuam sobre dois objetos iguais, imersos em dois fluidos diferentes.

Controla-se a variável volume submerso para verificar a influência dos fluidos no empuxo.

Procedimento: os alunos colocam o cilindro menor de alumínio preso ao dinamômetro dentro da proveta com água (Figura 5). Medem o valor da força e calculam o empuxo conforme foi feito nas experiências 3 e 4. Os alunos registram os dados na tabela. Esse procedimento é repetido com óleo.

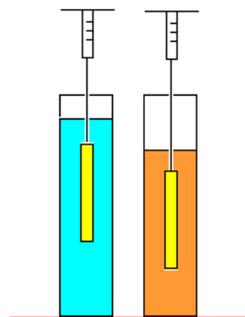


Figura 5. Dois objetos idênticos e feitos de mesmo material imersos em fluidos diferentes

Analisando as medidas realizadas, percebe-se que, para um mesmo objeto, o empuxo feito pela água é maior do que aquele feito pelo óleo. Logo, o empuxo é influenciado por alguma característica do fluido em que o objeto é imerso total ou parcialmente. Pela experiência 1, a densidade da água é maior que a do óleo. Assim, o empuxo deve depender da densidade do fluido e estas grandezas são proporcionais.

Como os alunos não sabem *a priori* os valores das densidades da água e do óleo, para compará-los com os respectivos empuxos, não é trivial supor que o empuxo depende linearmente da densidade do fluido, pois nada impede que ele dependa do

quadrado ou do cubo da densidade. Neste ponto, o professor pode intervir e argumentar que as primeiras idéias para modelar qualquer fenômeno físico consistem sempre em tentar fazê-lo da forma mais simples possível, ou seja, com uma relação linear. Assim, os alunos poderão supor que:

O empuxo E depende da densidade do fluido \mathbf{r}_f e estas grandezas são grandezas diretamente proporcionais.

Ou seja:

$$E \propto \mathbf{r}_f \quad (2)$$

E esta dependência linear terá sua validade verificada (ou não) posteriormente, comparando o enunciado de Arquimedes com o resultado final obtido para a força de empuxo. Se ambos forem equivalentes, o modelo está correto.

4.3 Análise das unidades das grandezas envolvidas

O procedimento abaixo descrito pode ser utilizado para determinar se alguma outra grandeza, além da densidade do fluido e do volume de fluido deslocado, deve ser considerada na formulação matemática para o empuxo.

Sendo V_{desl} o volume deslocado pelo líquido com a colocação do objeto dentro dele e \mathbf{r}_f a densidade do fluido, pode-se expressar da seguinte forma as unidades destas duas grandezas, no Sistema Internacional de Unidades (SI):

$$V_{desl} = [m^3] \quad (3)$$

$$\mathbf{r}_f = \frac{[kg]}{[m^3]} \quad (4)$$

Assim:

$$\mathbf{r}_f = \frac{[kg]}{V_{desl}} \quad (5)$$

$$[kg] = \mathbf{r}_f V_{desl} \quad (6)$$

Sendo E o empuxo, ele tem unidade de força, que, pela 2ª lei de Newton ($\mathbf{R} = \mathbf{m.a}$), é dada, também no SI, por:

$$E = [kg].[m][s^{-1}] \quad (7)$$

Substituindo a equação (6) na (7):

$$E = \mathbf{r}_f V_{desl} [m][s^{-1}] \quad (8)$$

Assim, o empuxo tem unidade correspondente a do produto de densidade, volume e aceleração. Como a seqüência de experimentos levou os alunos a concluir que o empuxo é diretamente proporcional à densidade do fluido e ao volume de fluido

deslocado, a expressão obtida em (8) indica que falta considerar uma outra grandeza, que também é diretamente proporcional ao empuxo, para a descrição completa desta força. Tal grandeza tem dimensão de aceleração.

Para descobrir que aceleração é essa, o professor pode argumentar com seus alunos que, como todos os experimentos são realizados na condição de equilíbrio ($\mathbf{R} = \mathbf{0}$), a aceleração resultante sobre o sistema é nula. Logo, esta grandeza não está associada a nenhum movimento do objeto dentro do fluido.

Tanto pela equação (8) como pela própria 2ª lei de Newton, o professor pode lembrar aos alunos que força e aceleração possuem sempre mesma direção. Como o empuxo é uma força vertical, a aceleração procurada também deve ser vertical.

Como a única aceleração que é sempre vertical é a aceleração da gravidade g , ela pode ser pensada como sendo a grandeza que falta na relação para o empuxo. Assim, reescrevendo a equação (8) já utilizando essa hipótese, tem-se que:

$$E = \mathbf{r}_f V_{dest} g \quad (9)$$

4.4 Comparação dos resultados com o Princípio de Arquimedes

A fim de verificar se as hipóteses construídas com os alunos são realmente válidas para a modelagem do empuxo, sobretudo no que diz respeito à dependência linear do empuxo com a densidade do líquido e à presença da aceleração da gravidade g , o professor pode propor uma comparação dos resultados obtidos com o princípio de Arquimedes (282-212 a.C.), que afirma que:

Todo corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

Matematicamente, este princípio pode ser escrito como:

$$E = P_f \quad (10)$$

sendo E o empuxo, P_f o peso do fluido deslocado.

Considerando m_f a massa do fluido deslocado, tem-se que:

$$E = m_f g \quad (11)$$

Seguindo a notação usada acima:

$$\mathbf{r}_f = \frac{m_f}{V_{dest}} \quad (12)$$

$$m_f = \mathbf{r}_f \cdot V_{dest} \quad (13)$$

Substituindo (13) em (11):

$$E = \mathbf{r}_f V_{dest} g \quad (14)$$

Vê-se, assim, que o resultado obtido pela seqüência de experiências, pela análise dimensional e pelos argumentos construídos na interação professor-aluno concorda com o Princípio enunciado por Arquimedes, pois as equações (9) e (14) são iguais. Logo, as hipóteses dos alunos estão corretas e a força de empuxo é descrita matematicamente por (9).

4.5 Determinação experimental de densidades

A partir do modelo teórico construído, o professor poderá propor aos alunos a determinação experimental das densidades da água e/ou do óleo. Tal procedimento pode servir para reafirmar a validade do modelo construído pelos alunos para a força de empuxo, pois se pode comparar o valor obtido com o tabelado, e para aprofundar a habilidade de registro e análise de dados dos alunos.

Procedimento: os alunos colocam um dos cilindros preso ao dinamômetro dentro da proveta com um volume inicial de água conhecido. Deixando o objeto completamente submerso, mede-se a tensão registrada no dinamômetro e o volume final de líquido. O mesmo procedimento pode ser realizado para a determinação da densidade do óleo.

Sendo o volume de fluido deslocado igual à diferença entre os volumes final e inicial e considerando-se o peso deste cilindro e a condição de equilíbrio (experiência 1), determina-se a densidade da água com a expressão obtida pelos alunos em (9).

5. CONCLUSÕES

Este trabalho visa apresentar uma proposta de plano de aula para a apresentação do Princípio de Arquimedes que possibilita o desenvolvimento das habilidades e competências mencionadas na Reorientação Curricular de 2006 da SEE-RJ. Ele é uma tentativa de fornecer ao professor uma orientação sobre como conduzir atividades experimentais de modo a atuar como mediador da aprendizagem, a propiciar maior interação entre os alunos, a estimular a reflexão e a criatividade deles e a promover uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

A simplicidade da seqüência dos experimentos, o modo como eles se relacionam, os momentos de intervenção do professor e sua interação com os alunos sugerem que é possível aplicar algumas das recomendações dos documentos oficiais sobre educação sem recursos sofisticados.

A aplicação desta proposta em sala de aula é a próxima etapa do trabalho, a fim de que se possam ter mais elementos que indiquem os efeitos que uma abordagem como esta produz para a aprendizagem de Física no Ensino Médio. Entretanto, mesmo depois de testado, esse plano de aula não tem a pretensão de defender que as atividades experimentais são a solução para o ensino de Física em nosso país nem que a seqüência de experimentos sugerida garante a aprendizagem do Princípio de Arquimedes em qualquer situação ou contexto; ele apenas quer mostrar que é possível estreitar a distância entre o que é sugerido nos documentos sobre educação e a prática docente e que aprender Física pode ser muito mais significativo e instigante para os alunos do que a mera memorização e utilização de fórmulas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Susana Lehrer de Souza Barros, do Instituto de Física da UFRJ, pelo apoio à idéia e pela valiosa ajuda na elaboração deste trabalho. Meus agradecimentos também aos pareceristas deste simpósio, pelas sugestões ao aperfeiçoamento do texto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONS, A. B. *Teaching introductory physics*. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1997.

BRASIL. Ministério da educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais – Ensino Médio. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais; ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Física: volume único*. São Paulo: Scipione, 1997.

SECRETARIA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO DO RIO DE JANEIRO (SEE-RJ). *Reorientação Curricular para o Ensino Médio - Ciências da natureza e matemática*, 2006.