



Francisco Catelli<sup>1,2,#</sup>

Breno Cechinato de Lima<sup>2</sup>

Gustavo Rossato Pasquali<sup>2</sup>

Lucas da Rosa Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil.

## RESUMO

Neste trabalho, é apresentado o passo a passo de uma sequência experimental para a determinação da massa específica do ar. Os resultados obtidos dentro das incertezas estimadas são consistentes com os valores apresentados em tabelas. Na conclusão, são apresentadas três abordagens em graus crescentes de complexidade, que podem ser implementadas em diferentes níveis de ensino. O material necessário não é especializado, contribuindo para que a replicação do experimento aqui proposto seja razoavelmente acessível.

**Palavras-chave:** gases; gás ideal; pressão atmosférica; densidade; massa específica

## 1. Introdução e revisão de literatura

Desde sempre, o ar, a atmosfera e a pressão atmosférica despertaram a curiosidade de todos aqueles que, pelo menos por um momento, se dedicaram a perscrutar o ambiente que os cercam e que lhes deram alguma atenção. O conteúdo escolar, em diferentes níveis, contempla transposições de conhecimentos científicos, transposições estas que se iniciam já no ensino fundamental [1, 2] e se propagam no Ensino Médio [3, 4]. A atmosfera chama a atenção de todos e desperta as mais variadas reações naqueles que se dedicam a estudá-la: os astrônomos, por exemplo, determinam a massa do ar por meio de fenômenos atmosféricos [5] e estudam-na determinando os problemas que ela causa às observações [6]. A atmosfera e, por extensão, o ar levam cientistas, técnicos e engenheiros a definir, por exemplo, a pressão. Este esforço, por sua vez, alcança a escola, mais especificamente o Ensino Médio [7].

A física aplicada que daí emana leva a indagações sobre os artefatos tecnológicos que nos cercam [8]; alguns destes artefatos, como os smartphones, passam a compor o que poderíamos chamar de instrumentos científicos, aqui referidos como auxiliares na medida da pressão atmosférica [9]. A própria natureza das ciências é evocada quando a percepção que nós, humanos, temos da atmosfera se transforma em tema de discussão de cunho mais reflexivo, o qual envolve, eventualmente, a própria natureza das ciências [10]. O

leitor perceberá que se trata de um tema inesgotável, por isso a necessidade de um recorte como o feito aqui, em que foram citadas apenas referências recentes (últimos 10 anos) e restritas ao campo do ensino e da aprendizagem da física e das ciências em geral. Esta reflexão acerca do ar e da atmosfera leva, com alguma frequência, à questão transcrita aqui na linguagem espontânea dos estudantes: o ar “pesa”? Nos próximos tópicos, será descrita uma rotina experimental que permitirá, de maneira razoavelmente simples e ac-

cessível à maior parte das escolas de ensino fundamental e/ou Ensino Médio, além dos níveis introdutórios de cursos de licenciatura, a determinação da massa do ar, mais precisamente, sua massa específica.

A aplicabilidade do trabalho aqui proposto pode ir do ensino fundamental ao Ensino Médio, com potencial para ser utilizado nas disciplinas iniciais de cursos de licenciatura. Por meio de uma consulta à BNCC, voltada ao objeto deste trabalho, verificamos que o estudo da massa específica do ar é conduzido no 5º ano do ensino fundamental, dentro da unidade temática “Matéria e energia” e tendo como objeto de conhecimento “Propriedades físicas dos materiais” e a habilidade (EF05CI01), transcrita a seguir.

Explorar fenômenos da vida cotidiana que evidenciem propriedades físicas dos materiais - como densidade, condutibilidade térmica e elétrica, respostas a forças magnéticas, solubilidade, respostas a

**Esta reflexão acerca do ar e da atmosfera leva, com alguma frequência, à questão transcrita aqui na linguagem espontânea dos estudantes: o ar “pesa”?**

#Autor de correspondência. E-mail: fcatelli@ucs.br.

forças mecânicas (dureza, elasticidade etc.), entre outras.

Assim, conforme a descrição da BNCC reproduzida acima, este experimento poderá ser utilizado no 5º ano do ensino fundamental. O professor, ao explicar aos estudantes as propriedades físicas dos materiais, poderá utilizar uma versão simplificada do que é proposto neste trabalho, ou seja, uma determinada quantidade de ar “colocada” em uma balança fará com que um valor seja indicado. Nesse nível de ensino, não seria adequada uma discussão mais aprofundada sobre o assunto, como a que será aqui apresentada, envolvendo, por exemplo, a propagação de incertezas. O empuxo poderia ser mencionado apenas de forma qualitativa, sem maiores detalhamentos. A expressão “o ar pesa”, entre aspas, que aparece no título, indica aqui a forma coloquial como as pessoas se referem a uma determinada leitura de uma balança. Balanças, como a empregada neste estudo, medem a massa de objetos, e não seu peso (o peso é uma força, cujo módulo é expresso pelo produto entre a massa e a aceleração da gravidade). Um exemplo do cotidiano pode ser elaborado a partir da massa dos botijões de gás de cozinha. Quando é feita uma referência a um “botijão de gás de 13 kg”, os 13 kg se referem à massa do botijão de gás cheio menos a massa do botijão de gás vazio. Se este exemplo for empregado, é importante lembrar os alunos de que o conteúdo do botijão cheio é líquido, sob uma pressão muito maior que a atmosférica, e de que, ao ser aberto o registro no fogão, o conteúdo transforma-se em gás à pressão ambiente.

A sequência de passos que será proposta neste estudo tem, como referido acima, potencial para uso tanto no nível médio quanto em cursos introdutórios de licenciatura em Ciências, em geral, e licenciatura em física, em particular. Uma versão despojada da maior parte dos detalhes de cálculo e fórmulas pode ser empregada também no nível fundamental de ensino. Alguns aspectos de potencial interesse para o leitor e o professor são destacados nas conclusões; o primeiro deles diz respeito ao empuxo. A afirmação (que surpreende os estudantes) de que balanças sempre medem um pouco menos do que lemos nelas será discutida na seção 3, a seguir.

O aspecto diferenciado deste trabalho diz respeito ao material utilizado, o qual não envolve, necessariamente,

equipamentos desenhados especificamente para laboratórios, sejam eles associados à pesquisa em física, sejam eles voltados ao ensino da física e das ciências. A consulta feita à bibliografia referida anteriormente não apontou nenhum trabalho recente no campo do ensino e da aprendizagem das ciências e da física com estas características (medições acuradas por meio de recursos passíveis de serem encontrados no dia a dia dos estudantes).

## 2. Material necessário e procedimento experimental

Os materiais selecionados para esta atividade (Fig. 1) foram pensados de modo a serem o mais acessível possível: de baixo custo e pertencentes ao dia a dia de estudantes e professores. O “baixo custo” refere-se menos ao valor que seria necessário investir para adquirir o equipamento mencionado e mais ao fato de este equipamento poder estar disponível na escola (infelizmente, essa disponibilidade não é possível em todas as escolas). A bola de basquete é um item comum, que pode ser obtido por empréstimo no setor de educação física das escolas de Ensino Médio, por exemplo. O compressor também é um item de fácil acesso; o utilizado neste trabalho é pequeno, usualmente utilizado para pneus de bicicleta, bolas, moto e mesmo carros, ligado a uma bateria de 12 V. É um item que pode ser encontrado até mesmo em supermercados (Fig. 2). Outra possibilidade a ser explorada, caso este compressor não esteja disponível, é a de algum aluno que o possua levá-lo para a aula a fim de realizar o experimento (esta possibilidade vale também para a bola de basquete). Estes compressores usualmente têm um manômetro, mas, em geral, não são muito confiáveis, em

especial pelo fato de que a pressão que utilizaremos neste trabalho, em torno de 15 PSI, aparece no mostrador bem no início da escala, o que leva a leituras pouco confiáveis. O ideal seria um manômetro de maior precisão, como o que aparece na Fig. 2 e na Fig. 3. Outra opção é a de utilizar dados obtidos por meio de um calibrador de um posto de gasolina; os resultados não serão tão consistentes quantos os que serão apresentados aqui, no entanto ainda são perfeitamente aceitáveis para uma atividade experimental em nível de ensino fundamental ou médio, ou mesmo de instrumentação para o ensino de física em cursos de licenciatura.

As conexões do compressor para a bola e o manômetro podem ser feitas com mangueiras utilizadas para fogões ou outras com parede razoavelmente espessa (ver estas conexões esquematicamente na Fig. 1 e nas imagens das Figs. 2 e 3). A conexão com o compressor pode ser feita por meio de uma válvula de ar de pneu sem câmara, item de baixo custo que pode ser encontrado em lojas de comércio de pneus de carro, ou mesmo um obtido de câmaras de ar fora de uso, em borracharias. O “T”, em geral, de latão, pode ser encontrado em lojas de materiais para fogões. O acoplamento com a bola de basquete é feito com um bico para inflar bolas, que pode ser encontrado em lojas de artigos esportivos. Por fim, além de um termômetro comum para a temperatura ambiente, é necessária uma balança, com resolução de pelo menos décimos de grama e capacidade

de 1 kg.

A balança empregada na obtenção dos dados que serão referidos mais adiante possui resolução de centésimos de grama, mas os valores apresentados ao longo deste trabalho foram arredon-

Quando é feita uma referência a um “botijão de gás de 13 kg”, os 13 kg se referem à massa do botijão de gás cheio menos a massa do botijão de gás vazio

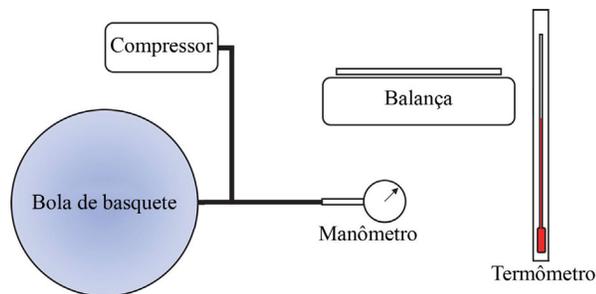


Figura 1 - Materiais necessários e montagem sugerida.



Figura 2 - Equipamento empregado para a obtenção dos resultados apresentados neste artigo. Uma ampliação do manômetro empregado nas medições é apresentada no canto superior direito.

dados para décimos de grama. Conforme as Figs. 1, 2 e 3, no dispositivo em “T” há em um de seus terminais o bico de inflar, que será introduzido na válvula da bola de basquete. Na extremidade do segundo ramo, é acoplado o manômetro. O terceiro ramo do “T” terá uma válvula de ar na sua extremidade, válvula esta que será acoplada à bomba de inflar. Se for utilizado o manômetro da bomba de inflar, não será necessário o “T”: bastará um segmento de mangueira, com o bico de inflar a bola em uma extremidade e a válvula de ar para

acoplá-la à bomba, na outra.

Para sintetizar o que foi mencionado acima, segue uma relação do material necessário, incluindo, quando pertinente, alternativas que facilitem a execução do que é proposto.

- Bola de basquete e trena flexível (Figs. 1 e 2).
- Compressor de ar e fonte de 12 V, corrente contínua. A fonte que aparece na Fig. 2 é de uso comum em laboratórios de física. Se uma fonte de 12 VCC não estiver disponível, o procedimento de inflar a bola e anotar a

pressão final pode ser feito no estacionamento da escola a partir da alimentação CC da bateria de um carro de um professor ou de um aluno, pois esse tipo de compressor é feito justamente para ser acoplado à alimentação CC de um automóvel. Uma terceira possibilidade é a de inflar a bola em um posto de combustíveis, anotando a pressão e levando depois a bola para a sala de aula.

- Manômetro (opcional). O manômetro que aparece nas Figs. 2 e 3 é acoplado à linha de pressão e fornece valores de pressão manométrica mais acurados. Uma alternativa é utilizar o próprio manômetro do compressor, mas, em geral, estes dispositivos não fornecem leituras acuradas de pressões baixas (para os padrões automobilísticos) como a que será empregada aqui (por volta de 15 PSI). As pressões de calibração de pneus de automóvel, vão, tipicamente, de 28 PSI a 30 PSI, ou mais, dependendo do modelo, e, nesta faixa de medição, os manômetros dos compressores fornecem leituras mais acuradas.
- Balança que meça até 1 kg, com resolução de pelo menos décimos de grama.
- Bicos de câmaras de ar de automóvel (um ou dois, dependendo da configuração da medição), bico de inflar a bola de basquete (dois), 30 cm (aproximadamente) de mangueira flexível, cintas de *nylon* (*cabie tie* ou *tie wrap*) para apertar as conexões (seis), alicate de corte.
- Termômetro para medir a temperatura ambiente (dependendo da configuração do experimento escolhida pelo leitor) e paquímetro para medir a espessura da parede.

A seguir, será apresentado um passo a passo que ilustra as sucessivas medições que levarão à massa específica do ar (“densidade do ar”, numa linguagem menos precisa).

Passo 1. Use um bico adicional e murche a bola de basquete. Aperte a parede da bola e forme uma dobra, de modo a poder medir, com um paquímetro, a espessura desta (a medida fornecerá o dobro da espessura da parede). Nas medições feitas em atividades escolares, chega-se, tipicamente, a 4,7 mm, o que leva a uma espessura da parede da bola de 2,35 mm, aproximadamente. Anote também a temperatura ambiente. No dia das medições que serão apresentadas a seguir, a temperatura aferi-



Figura 3 - Montagem para o acoplamento simultâneo do compressor, do manômetro e da bola de basquete. Se for utilizado o manômetro do compressor, um segmento de mangueira será suficiente, com a válvula de ar em uma extremidade e o bico de inflar na outra.

da foi de 20 °C.

Passo 2. Encha a bola com o compressor até aproximadamente 7 PSI (pressão sugerida pelo fabricante da bola) e, depois, esvazie-o com o mesmo bico adicional, sem apertar a bola, de modo que ela mantenha aproximadamente sua forma esférica (tal como aparece na Fig. 2). Com o bico de inflar inserido na válvula da bola, após algum tempo, a pressão externa se tornará igual à pressão interna. Retire o bico de inflar. Se a bola fosse “amassada” e o bico retirado depois, a pressão interna poderia ser menor que a pressão ambiente, já que a elasticidade da parede da bola tenderia a levá-la ao formato original, fazendo com que a pressão interna ficasse um tanto menor que a pressão ambiente. Um fato curioso: não é necessário anotar a pressão ambiente. Isso ficará claro mais adiante.

Passo 3. Coloque a bola na balança e anote a massa. Um valor típico obtido pelos autores em medições efetuadas em aula foi de  $m_0 = 545,8$  g. Uma questão interessante feita pelos alunos nesta ocasião foi: “O que a balança mede, de fato? A massa da bola e do ar que ela contém?”. A resposta, um tanto curiosa, é: a massa da bola por certo. Porém, não a massa de ar que ela contém se o interior estiver à pressão atmosférica. Como a pressão interna da bola é igual à pressão externa (passo 2), o peso do ar interno é equilibrado (muito aproximadamente) pelo empuxo do ar ambiente, no qual a bola está imersa, e a balança mede apenas a massa da estrutura sólida da bola (as paredes). Retornaremos a este ponto posteriormente.

Passo 4. Encha a bola até cerca de 14,7 PSI. Esta pressão, que corresponde a uma atmosfera, ou 101300 Pa, é aproximadamente o dobro da recomendada pelo fabricante, mas a bola suporta bem este excesso de pressão. A unidade empregada aqui, o PSI, é a mais familiar para os estudantes, pois é a utilizada em postos de gasolina para a calibração de pneus.

Passo 5. Coloque novamente a bola na balança. A nova medida indica que o ar adicionado à bola pelo compressor “pesa”, surpreendendo, assim, os estudantes. A nova medida da massa levou, em medições efetuadas, a  $m = 555,0$  g, o que resulta em uma variação de massa

$$\Delta m = m - m_0 = 9,2 \text{ g.}$$

A incerteza na massa deve-se à balança empregada, além de, em maior grau, à incerteza na medida da pressão: a pressão manométrica a qual a bola é submetida e aferida por um instrumento cuja incerteza relativa é maior que a da balança. Uma boa estimativa seria 0,5 PSI em 14,7 PSI (meia divisão da escala do manômetro, ver Fig. 2), o que dá uma incerteza relativa nesta medida de  $0,5/14,7 = 0,034$ , ou 3,4%. O leitor notará que a incerteza

**“O que a balança mede, de fato? A massa da bola e do ar que ela contém?”. A resposta, um tanto curiosa, é: a massa da bola por certo**

na pressão é diretamente proporcional à incerteza na massa do ar adicionado: supondo o ar, nas condições deste experimento, um gás ideal, vale a equação de estado,  $pV = nRT$ . Como o volume da bola

$V$  e a temperatura  $T$  não variam ( $R$  é a constante universal dos gases), a pressão é proporcional ao número de mols  $n$ , que, por sua vez, é proporcional à massa de ar. Dessa forma, a incerteza relativa de  $\Delta m$  (devida à incerteza da pressão) é a mesma incerteza (também relativa) da medida da pressão, 0,034. A incerteza absoluta em  $\Delta m$  é, então, igual a  $9,2 \text{ g} \times 0,034 = 0,31 \text{ g}$ .

A incerteza absoluta em razão da medição da massa na balança empregada neste trabalho pode ser estimada em 0,05 g. Como, numa subtração, as incertezas absolutas se somam, teremos  $\Delta m = (555,0 \pm 0,05) \text{ g} - (545,8 \pm 0,05) \text{ g} = (9,2 \pm 0,011) \text{ g}$ , ou uma incerteza percentual de aproximadamente 0,1% (muito menor que os pouco mais de 3% devido à incerteza na medida da pressão). Adicionando as duas incertezas absolutas,  $0,31 \text{ g} + 0,011 \text{ g}$ , chega-se a uma incerteza absoluta em  $\Delta m$  de 0,32 g, ou uma incerteza percentual de  $\frac{0,32}{9,2} = 0,0347$ , aproximadamente 3,5%.

Passo 6. Meça a circunferência da bola. Para isso, uma fita métrica de costura funciona bem; além disso, ela define um valor médio do raio da bola, evitando, dessa forma, erros de medição associados a alguma pequena falha de esfericidade do objeto. Na bola utilizada nesta atividade, esta circunferência foi de 78,5 cm, o que leva a um raio externo de 124,9 mm. Descontando a espessura da parede (2,35 mm, passo 1), chega-se a um raio interno  $r = 0,1226$  m, com uma incerteza absoluta estimada em 1 mm (0,001 m). Faça esta medição com o maior cuidado possível; a incerteza, associada à medida do raio, é bas-

tante significativa no momento em que o volume é calculado por conta de o raio ser elevado ao cubo. Este raio leva a um volume (interno) da bola igual a

$$V = \frac{4\pi(0,1226 \text{ m} \pm 0,008)^3}{3} = 0,00772 \text{ m}^3 \pm 0,024. \quad (1)$$

onde a incerteza apresentada é relativa. Expressando o resultado em termos de incerteza absoluta, e em  $\text{m}^3$ , tem-se  $V = (0,00772 \pm 0,00019) \text{ m}^3$ .

Passo 7. Agora, a massa específica do ar é calculada:

$$\rho_{\text{ar}} = \frac{\Delta m}{V} = \frac{(0,0092 \text{ kg} \pm 0,0347)}{(0,00772 \text{ m}^3 \pm 0,012)} = 1,1925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \pm 0,047. \quad (2)$$

Em termos de incerteza absoluta e efetuando os arredondamentos pertinentes, o resultado é  $\rho_{\text{ar}} = (1,20 \pm 0,05) \text{ kg/m}^3$ .

Passo 8. Será feita agora a comparação com os dados de tabelas para a massa específica do ar a diferentes temperaturas. Uma consulta, por exemplo, ao *CRC Handbook of Chemistry and Physics* [11, p. 1491] fornece, a uma pressão de 100 kPa (aproximadamente uma atmosfera) e 20 °C,  $\rho_{\text{ar}} = 1,18 \text{ kg/m}^3$ . Este valor é igual ao obtido experimentalmente, consideradas as incertezas de medição: o valor experimental apresentado no passo anterior, acrescido da incerteza, fica entre  $1,15 \text{ kg/m}^3$  e  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

E se a temperatura ambiente não for 20 °C? A título de exemplo, imaginemos as condições das CNTP (pressão de uma atmosfera e temperatura de 273 K, ou 0 °C). Caso a bola fosse resfriada de 20 °C para 0 °C, a pressão diminuiria e seria necessário acrescentar um tanto de ar para a pressão retornar a 14,7 PSI (1 atm). E quanto ar? Considerando-o um gás ideal, poderá ser feito novamente o uso da equação de estado,  $pV = nRT$ . Como  $p$ ,  $V$  e  $R$  são constantes, pode-se escrever

$$n_1 T_1 = n_2 T_2, \quad (3)$$

onde  $n_1$  é o número de mols de ar à temperatura de 20 °C (293 K) e  $n_2$ , o número de mols à temperatura de 0 °C (273 K). A variação do número de mols  $n$  é proporcional à variação da massa de ar na bola. Reescrevendo a Eq. (3) e considerando esta proporcionalidade,

têm-se

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{T_2}{T_1}, \quad (4)$$

$$m_2 = m_1 \frac{T_1}{T_2}. \quad (4 - a)$$

Efetuada esta correção (com as temperaturas expressas em kelvin) e recalculando, por meio da Eq. (2), com a massa  $m_2$  corrigida como sugerido na Eq. (4), chega-se a uma massa específica do ar  $\rho_{\text{ar}} = 1,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Comparando este resultado com o valor de tabelas para as CNTP,  $1,29 \text{ kg/m}^3$  [12, p. 579], têm-se novamente valores iguais, dentro das incertezas de medição acima referidas.

### 3. A balança mede, de fato, a massa de um objeto?

O aspecto que será considerado a seguir usualmente é ignorado, pois reflete uma diferença tão pequena na massa medida por uma balança que usualmente ela fica oculta pela incerteza da medição. Estamos fazendo referência aqui ao empuxo do ar. Por exemplo, ao colocar a bola de basquete sobre a balança, com seu interior à pressão ambiente, como no passo 2-3, a balança responderá à *força peso* do material que constitui a bola ( $m_0 \times g$ ), *mais* a força peso do ar contido na bola e *menos* a força de empuxo, força esta que é (aproximadamente) igual à força devida ao peso do ar contido na bola, se ela estiver à pressão ambiente. O empuxo é uma força a subtrair por ter a mesma direção da força peso, mas com sentido oposto.

Os alunos ficarão surpresos com esta afirmação. Ao colocar, por exemplo, uma massa de 1 kg de água sobre uma balança, esta detectará a massa ali colocada, *menos* a massa de ar ocupada pela água! Por que não percebemos essa diferença? O fato é que ela é muito pequena, não perceptível na maioria das balanças que empregamos rotineiramente. Vejamos: o volume de 1 kg de água é de  $1 \text{ dm}^3$  ( $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ ), ou 1 L. A massa de ar que corresponde a este volume, a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , é de  $1,18 \text{ kg}/1000$ , pois há  $1000 \text{ dm}^3$  no volu-

me de  $1 \text{ m}^3$ . Então, a diferença é de pouco menos de uma parte em mil (1,18 g correspondentes à massa do ar deslocado pela água), o que pode, na maior parte das vezes, ser desconsiderado. Este fato é destacado, por exemplo, no *CRC Handbook of Chemistry and Physics* [11, p. 1491].

Por fim, cabe considerar que o empuxo, tanto na medição de  $m_0$  (bola contendo ar à pressão atmosférica) quanto na medição de  $m$  (bola contendo ar à pressão de uma atmosfera, mais a pressão atmosférica ambiente) é o mesmo, e, assim, não afeta a determinação de  $\Delta m$ .

### 4. Conclusão

Além dos aspectos já considerados na introdução, referentes à potencial aplicabilidade da rotina aqui descrita tanto no ensino fundamental quanto no Ensino Médio, outro que pareceu relevante aos autores no contexto no qual o trabalho aqui apresentado foi desenvolvido é o de que o procedimento pode ser explorado em diferentes níveis de complexidade. No primeiro nível, de complexidade mais baixa, apenas a constatação de que a balança apresenta valores diferentes quando a massa da bola inflada é comparada com a da bola à pressão atmosférica já poderá ser suficiente para uma abordagem introdutória do tema, abordagem está adequada, por exemplo, a uma exploração no âmbito de ciências, no ensino fundamental, tal como referido na introdução (além da referência à BNCC [12], lá apontada, ver também [1]). Se for este o nível escolhido, os passos a serem considerados vão do passo 2 ao 5. Neste último passo, bem entendido, as considerações acerca das incertezas de medição serão ignoradas. Nesse contexto, apenas uma resposta semiquantitativa à pergunta expressa no título deste trabalho é oferecida.

**O empuxo é uma força a subtrair por ter a mesma direção da força peso, mas com sentido oposto**

Um segundo nível de abordagem, adequado ao nível do Ensino Médio, poderá ser desenvolvido contemplando todos os passos, mas sem o detalhamento referente à propagação dos erros de medição. A correção devida à diferença de temperatura poderá ser incluída ou não, ficando a critério do professor. Os estudantes seriam alertados tanto das

incertezas quanto da correção devida à temperatura, mas sem que os cálculos correspondentes fossem realizados, o que exigiria tempo e conhecimento adicionais, em geral

não pertinentes ao contexto do Ensino Médio. Neste segundo nível, um valor quantitativo da massa específica do ar é alcançado e pode ser comparado com valores de tabelas.

Por fim, uma terceira abordagem contemplaria todos os passos referidos neste trabalho, incluídas as considerações acerca dos erros de medição e a correção devida à diferença de temperatura. Esta seria uma abordagem adequada a uma disciplina de Instrumentação para estudantes de licenciatura em física, por exemplo. Neste último nível, mais elevado, o próprio procedimento experimental é validado e resulta em um valor para a massa específica do ar, acrescido da respectiva incerteza. Cabe ao leitor-professor que se decidir a explorar o que foi aqui proposto escolher qual das três abordagens mais convém a seus alunos.

### Agradecimentos

Ao técnico responsável pelo Laboratório de Física, Luis Alberto Casali, pela preciosa colaboração nas montagens dos experimentos e aferição dos manômetros. Os autores agradecem também ao revisor da FNe pelos aperfeiçoamentos sugeridos.

Recebido em: 4 de Agosto de 2022

Aceito em: 16 de Setembro de 2022

### Referências

- [1] M. Ferreira, W.E. Moreira, K.O. Portugal, D.Q. Brito, O.L. Silva Filho, M.R.M. Costa, Exp. em Ens. de Ciências **17**, 156 (2022).
- [2] K.G.F. Torres, L.A. Nagashima, Exp. em Ens. de Ciências **16**, 26 (2021).
- [3] M.R. Rossini, M.J. Alves, L.H. Amorin, P.S. Camargo Filho, Revista Brasileira de Ensino de Física **42**, e20200290 (2020). doi
- [4] F. Catelli, G. Molon, L.T.Z. Sauer, Física na Escola **16**(1), 57 (2018).
- [5] G. Almeida, Cad. Bras. Ens. Fis. **31**, 156 (2014). doi
- [6] G. Almeida, Cad. Bras. Ens. Fis. **31**, 410 (2014). doi
- [7] F.S. Rocha, P.H. Guadagnini, Cad. Bras. Ens. Fis. **31**, 124 (2014). doi
- [8] R.B. Werlang, F.L. Silveira, Cad. Bras. Ens. Fis. **30**, 614 (2013). doi

- [9] D.S. Rodrigues, F.J. Arnold, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **44**, e20210422 (2022). [doi](#)
- [10] D.S. Fonseca, J. Mesquita, H.F. Drumond, W.C. Oliveira, G.L.F. Batista, D.B. Freitas, *Cad. Bras. Ens. Fís.* **34**, 64 (2017). [doi](#)
- [11] D.R. Haines *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (Taylor & Francis, Boca Raton, 2014), 95<sup>nd</sup> ed., p. 1491
- [12] Brasil. *BNCC - Base Nacional Comum Curricular. Educação é a Base* (MEC, Brasília, 2017). Disponível em [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf)