

Carlos Eduardo Laburú

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina.
Londrina-PR.

Norberto Cardoso Ferreira

Instituto de Física da Universidade Estadual de São Paulo
São Paulo-SP

I. Introdução

Este trabalho propõe a construção de dois aparelhos, o esferômetro e o cilindrômetro, que podem ser facilmente construídos com materiais de baixo custo encontrados sem dificuldades no mercado.

Na escola esses aparelhos podem fazer parte das atividades experimentais dos cursos de primeiro e segundo graus de ciências ou de matemática (ou mesmo interdisciplinarmente). No caso da disciplina de matemática, o aparelho utiliza princípios de geometria, e assim é possível aplicar esses conceitos em situações reais. Da mesma forma, os aparelhos são úteis em Física, mais especificamente, no conteúdo de óptica geométrica.

O esferômetro se presta para a medição de espessuras de amostras de chapas, de raios de curvatura de calotas esféricas, tais como lentes e espelhos; foi usado durante muito tempo pelos oculistas e técnicos em fabricação de lentes. O cilindrômetro serve para medir raios externos e internos de canos ou cilindros em geral, e sua utilização poderá ser útil nas aulas de óptica geométrica quando se fizer necessária a construção de lentes e espelhos com simetria cilíndrica.

A idéia básica aqui é a de possibilitar que o aluno, motivado pela construção dos instrumentos, compreenda, ao mesmo tempo, o princípio de funcionamento dos aparelhos e os conceitos matemáticos por ele utilizados durante as aulas de geometria ou de ciências, e possa mais tarde utilizá-los nas aulas de óptica geométrica do curso de física.

Além das possibilidades anteriores, acrescentemos que o princípio básico empregado para a leitura da escala destes instrumentos é semelhante, por exemplo, ao do micrômetro, um instrumento muito utilizado em oficinas de precisão e laboratórios.

¹ Com auxílio parcial da CAPES, projeto Ripe

A seguir, descreveremos os materiais necessários à construção dos instrumentos, os detalhes de construção, os conceitos matemáticos envolvidos, alguns resultados empíricos obtidos e algumas sugestões didáticas de seu uso.

II. Materiais e Construção

a) Lista de materiais

Os materiais necessários para a construção dos instrumentos são:

- uma tampa de plástico (de maionese, de 500 g aproximadamente, por exemplo);
- um parafuso milimétrico com porca de passo 1 mm (ou seja, a cada volta o parafuso faz com que sua ponta avance um milímetro), que é encontrado em casa de ferragens;
- três parafusos-suporte, com porca, mais ou menos do comprimento do parafuso milimétrico, para o esferômetro (para o cilindrômetro serão necessários quatro);
- um pequeno pedaço de papel milimetrado;
- uma pequena chapinha metálica em forma de L, de (7 x 40) mm;
- uma chapinha circular (menor do que a tampa de maionese);
- um pedaço pequeno de cartolina,
- cola tipo Durepoxi.

Obs.: a) É interessante que o parafuso milimétrico seja grosso (6 mm de diâmetro, aproximadamente) para melhor fixação.

b) Todos os parafusos devem ficar com a ponta bem fina, o que pode ser obtido com uma lima ou com uma pedra esmeril.

b) Construção do esferômetro

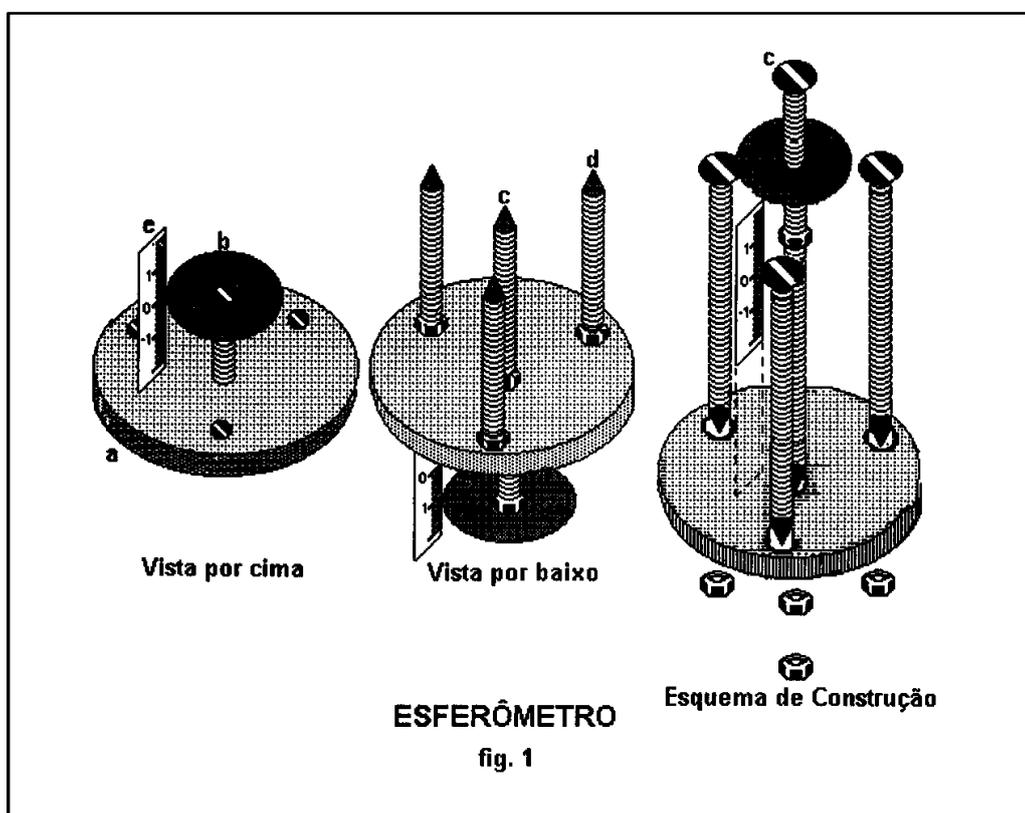
Para construir o esferômetro devemos pegar a tampa de maionese e retirar a sua lateral que serve como rosca, para ficar com melhor acabamento. No centro dessa tampa vai ser instalado o parafuso micrométrico. Os parafusos-suporte vão ficar perto da borda da tampa e equidistantes entre si. Eles formam os vértices de um triângulo equilátero cujo centro será ocupado pelo parafuso micrométrico. Para que os parafusos sejam fixados na tampa, é necessário fazer furos na mesma. Estes podem ser feitos com uma tesoura de ponta fina ou mesmo com os próprios parafusos aquecidos. Os três parafusos-suporte laterais (e não o milimétrico), letra *d* na Fig. 1, devem ser rosqueados até ficarem bem fixos. No furo central, como dissemos, vamos colocar o parafuso milimétrico (veja letra *c*, na Fig. 1). Para isso, em primeiro lugar, colemos a porca desse parafuso no buraco central, usando Durepoxi. Uma maneira de deixar esse parafuso bem centrado é utilizar duas porcas. Inicialmente, fazemos um furo na tampa de maionese, o mais próximo que conseguirmos do centro. Esse furo deve ser um pouco maior que o diâmetro do parafuso milimetrado. Prendemos, agora, o parafuso na tampa

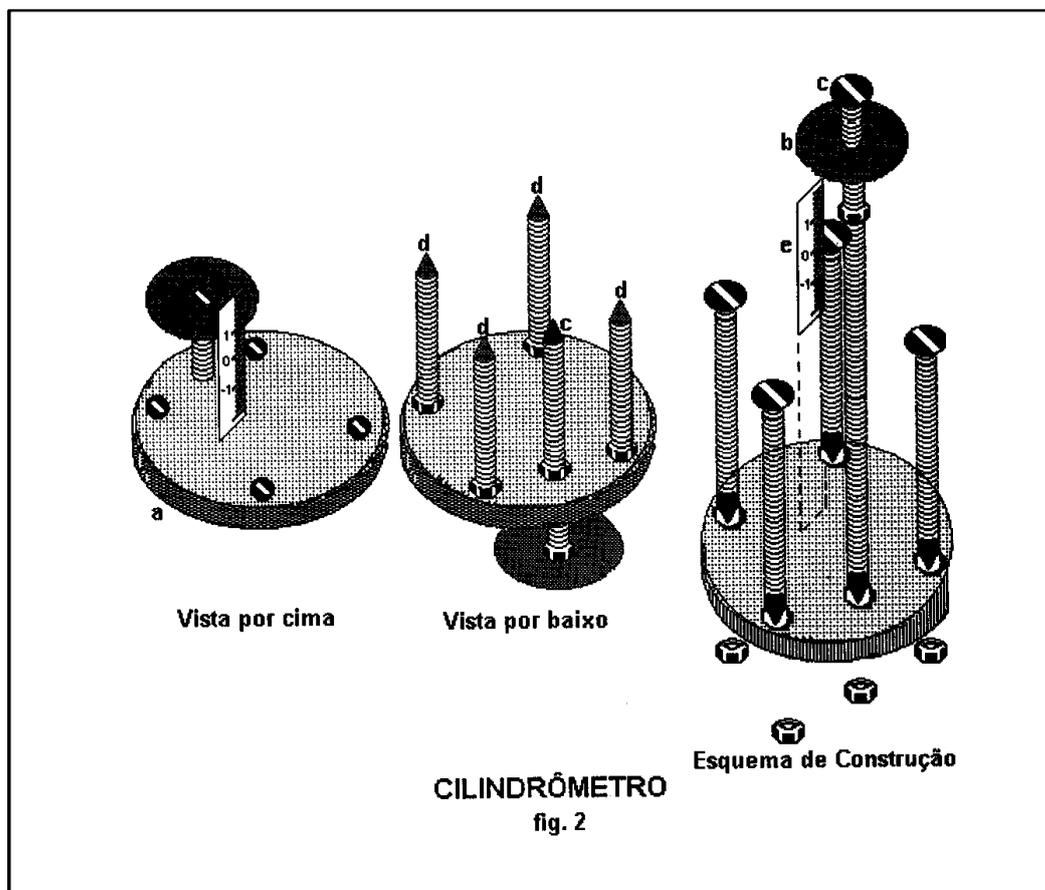
com o auxílio de duas porcas. Em seguida, colamos as porcas na tampa, usando Durepoxi. O perigo é o parafuso ficar também grudado, mas isso pode ser evitado, molhando-se o parafuso com óleo comum. Note que o parafuso milimétrico central deve correr livremente pela porca.

Com a chapinha circular em mãos, colemos uma escala circular de mesmo diâmetro. Essa escala é feita com o papel cartolina, no qual desenhamos uma escala circular com 20 divisões.

Na parte superior do parafuso milimétrico vamos colar a chapinha (essa chapa pode estar encaixada por debaixo da cabeça do parafuso, mas, para isso, é necessário que se faça nela um furo central com furadeira), conforme letra *b* na Fig. 1.

Na parte superior da tampa, lateralmente e bem rente à escala circular, colar a chapinha em forma de L. Nessa chapinha é preciso que se cole antes um pedaço de papel milimetrado, para termos uma escala milimétrica.





III. Parte Teórica

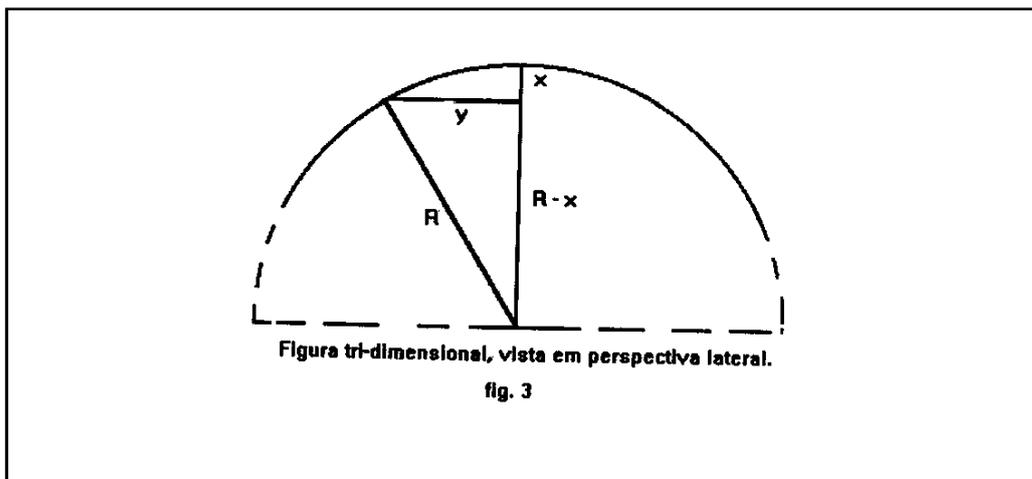
Para entendermos como se avalia o raio de curvatura de uma calota esférica, vejamos a Fig. 3, abaixo. Suponha, para exemplificar, a situação em que o esferômetro esteja por cima da calota. Na figura, temos x representando o quanto o parafuso milimétrico sobe (desce) na esfera convexa (côncava). No triângulo, observamos:

$$R^2 = y^2 + (R - x)^2$$

Desta maneira,

$$R = (x^2 + y^2) / 2x$$

Assim, tendo-se a distância y , que é a medida entre um parafuso periférico e o parafuso central, podemos calcular o raio da calota R . Para o caso da esfera côncava nada muda nas relações, apenas que, nesse caso, o giro do esferômetro seria ao contrário.



IV. Funcionamento

Para começarmos a utilizar o aparelho há necessidade, inicialmente, de realizar o seu zeramento. Para isso, precisamos dispor de uma superfície plana, como, por exemplo, um vidro. Em seguida, girando o parafuso central, procuramos deixar os quatro parafusos tocando a superfície. Nessa situação está estabelecido o zero nas duas escalas.

Para operar o instrumento, devemos colocá-lo sobre uma superfície esférica lisa qualquer (côncava ou convexa), como, por exemplo, uma bola de brinquedo. A medida é obtida quando os quatro parafusos estiverem tocando a superfície. Isso é feito girando-se o parafuso milimétrico para cima, a partir do seu zeramento prévio (no caso de superfícies côncavas, o giro é para baixo). Agora, sabendo-se que cada volta completa da escala circular equivale a um milímetro, a medida é tirada da seguinte forma: 1) Os milímetros são lidos na escala milimetrada da chapinha vertical. 2) Os centésimos de milímetros são determinados pela escala circular; cada divisão da escala circular equivale a 0.05mm (ou 1/20 do mm). Logo, a medida completa é a soma das duas escalas. Não esqueça, porém, da posição do zeramento inicial das escalas, pois é a partir dela que se faz a leitura final.

Com o instrumento sugerido é possível calcular com até 1/20 de mm de precisão o quanto subiu o parafuso milimétrico central². Assim, temos o valor da

² Essa, porém, não será a precisão da medida final que está limitada pela medida de y fornecida pela régua. Um outro erro, inclusive mais importante, está relacionado com o disco, Ao usarmos a escalinha vertical e em função do movimento do disco ser meio irregular, podemos estar errando no valor da medida de até uma volta e mais a volta quebrada (o que equivale a um erro de 1.5mm).

variável x que precisamos para substituir na equação $R = (x^2 + y^2) / 2x$, explicada na seção anterior. A variável y , por outro lado, é a distância entre o parafuso milimétrico central e um dos parafusos suporte-laterais. Esta medida é determinada diretamente com uma régua. Com essas duas medidas, temos condições de calcular o raio de curvatura R .

V. O Cilindrômetro

O cilindrômetro apresenta algumas particularidades de construção. Primeiramente, em vez de três parafusos colocados equidistantes, devemos colocar quatro, formando um quadrado, conforme a letra d na figura 2. Basicamente o instrumento funcionaria com dois parafusos somente (e mais o milimétrico); os demais estão aí para dar uma melhor estabilidade ao aparelho e facilidade na leitura; o instrumento não balança durante a medida dos raios dos cilindros. Outra particularidade refere-se ao posicionamento do parafuso milimétrico. Neste caso ele deverá estar centralizado entre dois quaisquer dos parafusos-suporte, ver letra c na figura 2. De resto, tudo o que foi dito acima para a construção e operação do esferômetro vale para o cilindrômetro.

VI. Alguns Resultados

A precisão das medidas está obviamente relacionada com a qualidade da construção dos instrumentos. Essa qualidade é determinada pela cautela que se deve tomar em pontos importantes como o posicionamento e a fixação dos parafusos, com a qualidade da escalas e seu zeramento. O esferômetro (cilindrômetro) pode medir raios não menores do que 35 mm, aproximadamente. Na tabela abaixo apresentamos alguns resultados obtidos por um esferômetro típico, comparando-o a uma régua comum.

Tabela

régua (mm)	Esferômetro (mm)	Cilindrômetro (mm)
53,5		55,0
42,5		43,7
35,7		36,2
153,5	152,1	
62,5	58,8	
49,0	49,4	

Pela tabela verificamos que há resultados discrepantes da ordem de 4 mm. Esse erro é devido à irregularidade dos objetos submetidos à medição, como canos PVC e esferas de isopor ou de papelão; um instrumento bem construído chega a ter precisão de 1,5 mm.

As bolas de isopor que encontramos no mercado tinham calotas destacáveis possibilitando, assim, uma medida direta do diâmetro com a régua. Contudo, no caso de bolas inteiriças pode-se enrolar uma linha no perímetro maior da esfera, medir o seu valor e dividi-lo por 2π , para obter o raio. É possível sugerir outros procedimentos para os alunos, como, por exemplo, através de sombras, etc., ou mesmo incentivar a criatividade dos alunos propondo que eles próprios imaginem outras maneiras de medir o raio. Essa comparação com a régua é um procedimento didático proveitoso para ser usado em sala de aula pois, desse modo, o aluno tem a oportunidade de confirmar os seus resultados com um instrumento mais simples, familiar e confiável para ele.

Uma forma de se obter uma noção da precisão do aparelho, atividade que pode ser considerada também didaticamente proveitosa, é realizar uma mesma medida várias vezes numa superfície esférica (ou cilíndrica) bem regular. Com isso é possível ter uma idéia da dispersão das medidas e, conseqüentemente, da precisão do instrumento. Em relação às irregularidades dos objetos medidos, acreditamos que elas, em vez de serem um fator complicador, são, sim, uma oportunidade para estimular o debate com os alunos sobre como avaliar melhor uma medida, no caso, o raio de certos objetos.

Neste trabalho fica, portanto, a sugestão da construção de dois instrumentos didáticos que podem tomar algumas aulas teóricas mais manipulativas, dando a oportunidade do contato com o real e talvez, assim, mais interessantes.