

**UNICAMP/IFGW**

**Projeto de F609**

*TÓPICOS DE ENSINO DE FÍSICA I*

---

**Experimento  
Com Ondas**      • *Tubo Sonoro em U*  
                             • *Tubo de Kundt*

---

**Aluno**                      *Ebenezer Fernandes Oliveira*  
  
   ebenezer.brasil@gmail.com

---

**Orientador**              **Prof. Dr. Richard Landers**  
  
   landers@ifi.unicamp.br

---

- **OBJETIVO:**

O presente projeto tem por objetivo demonstrar a viabilidade de construir e realizar *em sala de aula* experimentos didáticos ilustrando conceitos e propriedades de ondas estacionárias e acústica, a partir de material de sucata, junto ao pessoal do ensino médio.

- **DESCRIÇÃO DO PROJETO:** o projeto consiste em duas partes:

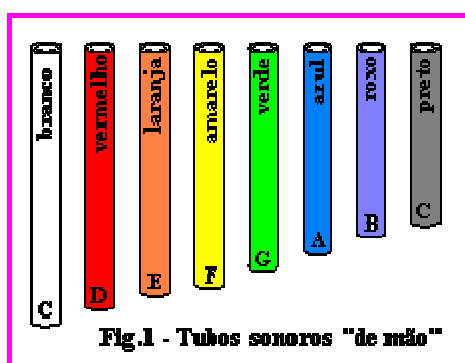
- i) Na primeira parte buscaremos orientar alunos e professores do ensino médio para a construção de um experimento do tipo tubo semi-aberto em U, a partir de material de sucata, facilmente obtido no dia a dia. Este experimento busca trabalhar conceitos de ondas estacionárias bem como demonstrar o fenômeno de ressonância acústica de forma audível em sala de aula.
- ii) Numa segunda parte buscaremos orientar alunos para executar uma *experiência demonstrativa* com a montagem do tubo de Kundt afim de ilustrar para alunos e professores do ensino médio a realidade física das ondas estacionárias dentro de um tubo sonoro.

**Parte A:      TUBOS SEMI ABERTOS - A RESSONÂNCIA ACÚSTICA**

- **Tubos Sonoros Semi-abertos: montagem e propriedades das ondas**

Esta montagem bastante simples pode ser construída com tubos de PVC. Demonstra-se com ele que uma escala musical pode ser construída a partir do conhecimento de comprimentos apropriados dos tubos e de suas frequências de vibração.

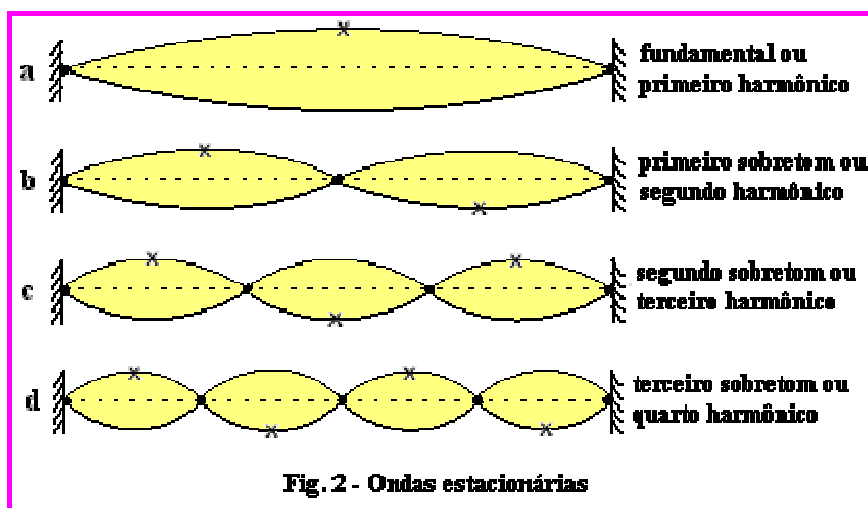
Quando espalmamos a boca de um destes tubos abertos produz-se um som audível e então é possível ilustrar propriedades de ondas estáticas como frequência, comprimento de onda, nós, anti-nós e ventre de ondas.



- **Conceitos Físicos Envolvidos:**

O professor poderá aproveitar a montagem para ilustrar a existência de *ondas estacionárias* e suas propriedades. Ao espalmarmos a boca de um tubo aberto o ar existente passa a vibrar gerando ondas de várias frequências dentro do mesmo. No entanto, após um tempo apenas certas frequências permanecem, aquelas associadas às ondas estáticas, que comportam-se dentro do tubo com certo comprimento.

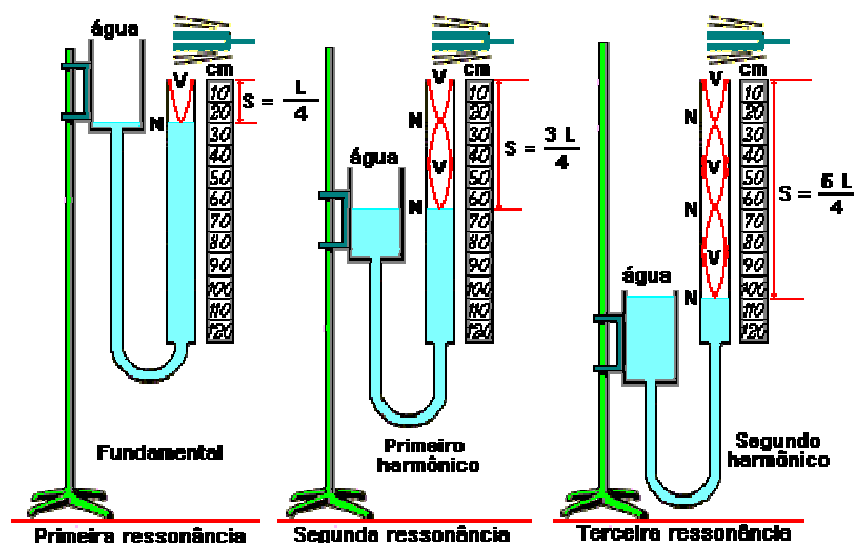
Nesse momento será útil lembrar conceitos de ondas estáticas associadas a uma corda vibrante por exemplo.



As ondas estáticas são produzidas por superposições de ondas de mesma frequência e amplitude, propagando-se no mesmo meio. No caso acima o professor poderia ilustrar para os alunos em sala de aula, conceitos envolvendo o primeiro harmônico, ou *frequência fundamental*, bem como os demais harmônicos associando-os aos conceitos de *tons*. Poderá, ainda, discorrer sobre fenômenos de interferência construtiva que geram os anti-nós e destrutiva, que geram os nós. Outros conceitos da ondulatória, como número de ondas, período e reflexão também podem ser explorados.

A seguir uma nova montagem poderá ilustrar melhor tais conceitos técnicos de forma mais concreta para os alunos. Isso pode ser obtido através de um tubo transparente semi-aberto acoplado a uma mangueira transparente cheia de água, conforme figura abaixo. Nela vemos que é perfeitamente possível demonstrar uma relação direta entre o comprimento da parte do tubo sem água ( onde ocorre vibração do ar) e o som que é ouvido pela vibração de um diapasão posto a vibrar na boca do mesmo.

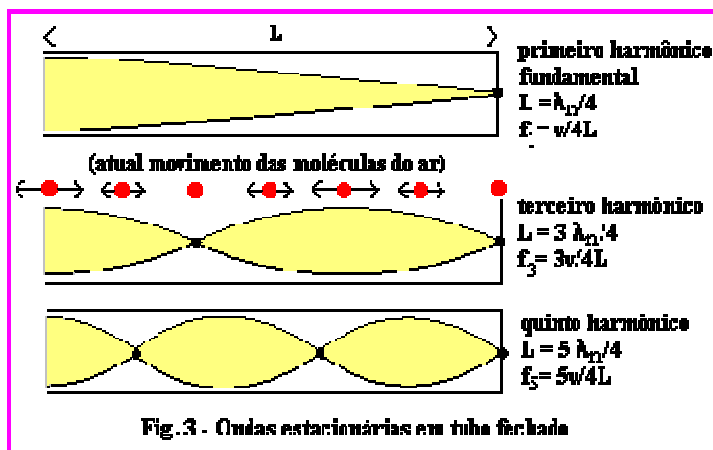
Na montagem experimental a seguir verifica-se ser possível, a partir do conhecimento do comprimento da coluna de ar dentro do tubo e da velocidade de propagação do som no ar, montar relações para a frequência de ondas estacionárias ao mesmo tempo associá-las ao *tom* acústico que é ouvido. O momento em que a frequência de vibração dentro do tubo entra em ressonância com a frequência de vibração de um *diapasão* colocado a vibrar na boca do tubo é revelado, de forma audível, pelo súbito aumento na altura do som. Sabendo desta forma a frequência da onda estacionária naquele momento e o comprimento de onda medido pela altura da coluna de ar o aluno poderá calcular a velocidade do som no ar.



A coluna de água no ramo esquerdo do tubo garante a não entrada de ar, vedando a outra extremidade. A coluna de água do ramo

esquerdo pode ser facilmente regulada para alterar as alturas da coluna de ar no ramo direito. Constrói-se assim uma tabela relacionando comprimentos na coluna de ar, freqüência de vibração da onda estacionária e comprimentos de onda, bem como o tom da nota musical.

Nesta oportunidade o professor poderá, ainda, demonstrar conceitos de ondulatória envolvendo tubos fechados numa única extremidade podendo relacioná-los, num segundo momento, com tubos totalmente abertos como os vistos na primeira figura.



A seguir a montagem anterior poderia ser usada para demonstrar como uma escala musical poderia ser construída, podendo-se, ainda, exibir a construção de outras escalas possíveis como a *escala temperada*.

Isso pode ser realizado fazendo-se variar a altura das notas tocadas nos tubos PVC. Bastará para tanto construir tubos de comprimentos convenientes conforme a freqüência da nota musical que deseja-se fazer ressonar no mesmo.

Finalmente, se o professor desejar, avançar um pouco a discussão poderá aproveitar convenientemente a oportunidade para discutir efeitos corretivos nesta escala devido a presença de *efeitos de borda*. Como é sabido o som produzido não corresponde exatamente a freqüência obtida apenas considerando o comprimento do tubo. Esta na realidade ressona como se o tubo fosse um pouco mais comprido, devido a efeitos associados ao diâmetro do tubo. Uma pequena correção no comprimento do tubo descontando-se o diâmetro do mesmo poderá fornecer a freqüência da nota musical que se deseja fazer ressonar.

$$L = (v/4f) - (1/4 d_{int}), \text{ onde } d_{int} \text{ é o diâmetro interno dos tubos.}$$

Na escala cromática bem temperada de Bach, por exemplo, adota-se a fórmula:  $f_1 = f_0 [ 2^{1/12}]^{\text{número do intervalo}}$

Como um exemplo:  $f_D = f_C [ 2^{1/12}]^2 = (262).(2^{1/6}) = 294 \text{ Hz}$

Eis uma tabela, nessa escala, com as notas, os números de intervalos, as freqüências, os comprimentos sem correção e uma coluna para anotar os comprimentos com correção (após subtrair a parcela  $d_{\text{int}}/4$ ).

| Notas | No. intervalo | do | Freqüências | L sem correção | L com correção |
|-------|---------------|----|-------------|----------------|----------------|
| C     | ---           |    | 261,6256    | 32,77          |                |
| D     | 1             |    | 293,6648    | 29,20          |                |
| E     | 1             |    | 329,6276    | 26,01          |                |
| F     | ½             |    | 349,2282    | 24,55          |                |
| G     | 1             |    | 391,9954    | 21,87          |                |
| A     | 1             |    | 440,0000    | 19,48          |                |
| B     | 1             |    | 493,8833    | 17,36          |                |
| C     | ½             |    | 523,2511    | 16,38          |                |
| -     |               |    | Hz          | cm             | cm             |

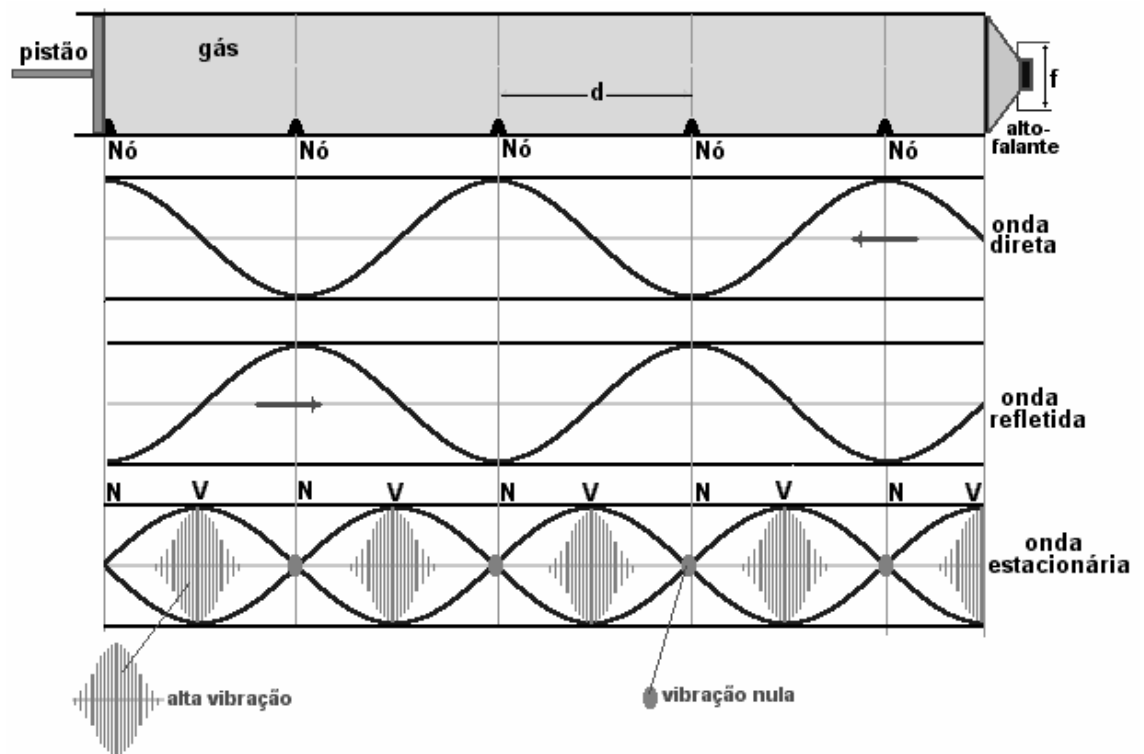
Na escala na tabela anterior não está completa. Bach 'selecionou' 12 notas para sua escala 'bem temperada', a saber:

| nota       | dó  | dó#        | ré         | ré#        | mi         | fá         | fá#        | sol        | sol#       | lá         | lá#         | si          | dó  |
|------------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-----|
| temperado  | 1   | $2^{1/12}$ | $2^{2/12}$ | $2^{3/12}$ | $2^{4/12}$ | $2^{5/12}$ | $2^{6/12}$ | $2^{7/12}$ | $2^{8/12}$ | $2^{9/12}$ | $2^{10/12}$ | $2^{11/12}$ | 2   |
| Freqüência | 262 | 277        | 294        | 311        | 330        | 349        | 370        | 392        | 415        | 440        | 466         | 494         | 523 |

- **Material Necessário:**

1. Tubo PVC: entre 16 a 18 pedaços de pequeno diâmetro.
2. Tubos transparentes: 2 à 4 do tipo pirex (existentes no laboratório LEI e que podem ser emprestados em para uma apresentação)
3. Mangueiras transparentes
4. Dois diapasões : (Há um jogo de 4 diapasões no LEI; freqüência 256Hz);
5. Lixa, serra, régua, cola, papel milimetrado, durepox, cartolina
6. Suportes de madeira.
7. Microfone e osciloscópio : para amplificar o sinal e demonstrar as ondas numa exposição feita no IF.

**Parte B :** Tubo de Kundt □ A Realidade Física das Ondas Estacionárias



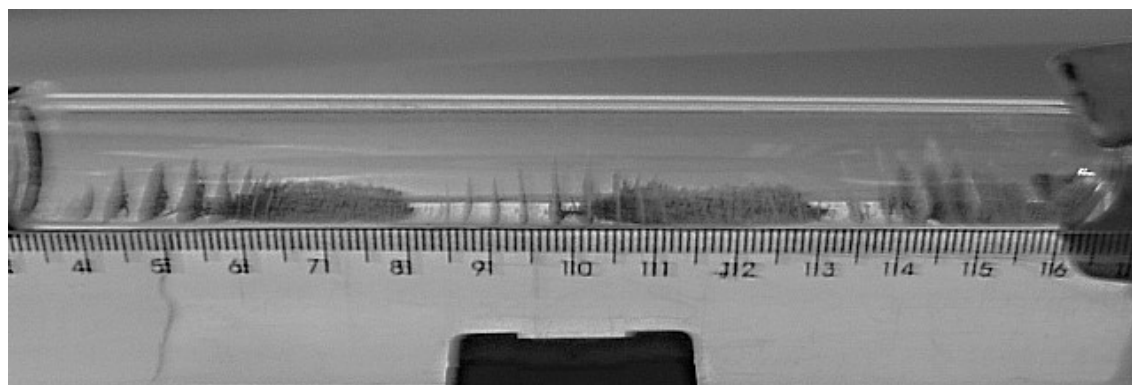
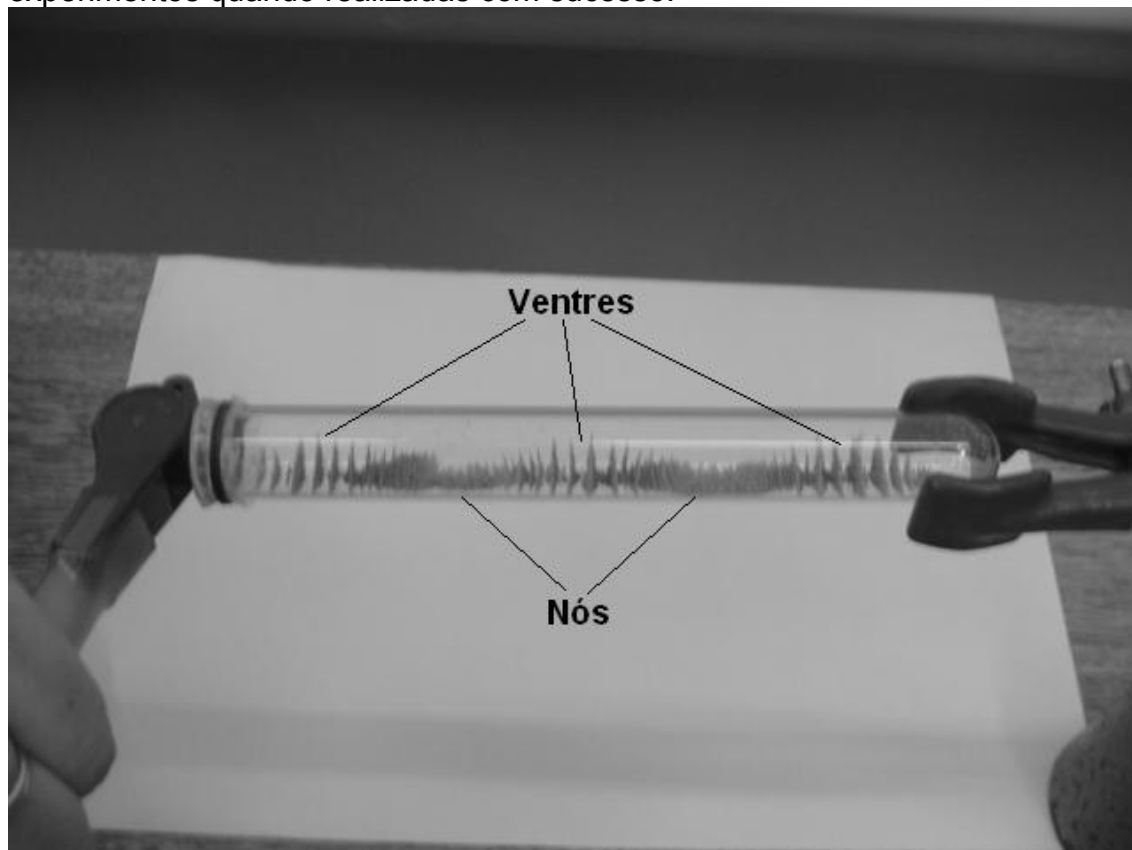
Passamos a descrever brevemente a segunda parte: utilização de um tubo de Kundt para ilustrar as ondas estacionárias para alunos e professores do ensino médio. O tubo de Kundt ilustrado acima e formado de um tubo cilíndrico transparente contendo ar dentro dele além de um pó bem fino (serragem, pólem, cortiça, etc). Numa das extremidades do tubo tem-se um pistão que pode ser deslocado para fazer variar o comprimento e, portanto, o número de harmônicos da onda estacionária associada. Na outra extremidade desse tubo pode-se acoplar um auto-falante de freqüência conhecida, ou ainda, um simples apito. Este deve ao ressoar produzir uma onda estacionária dentro do tubo que irá distribuir o pó contido dentro dele numa configuração espacial que, com razoável aproximação, modela a realidade da onda sonora.

Tal projeto já foi construído anteriormente no curso e há um aparelho disponível no instituto para fins demonstrativos. Nossa idéia aqui seria, em termos descritivos:

1. Demonstrar para fins ilustrativos a utilização de um tubo de Kundt para que os alunos visualisassem a realidade física das ondas estacionárias através da sua conformação quando utilizamos um pó bem fino.
2. Outra vez aqui trabalhar conceitos e propriedades das ondas estacionárias como nó, ventre, harmônicos, comprimento de onda que poderiam ser medidos diretamente pelos alunos com uma simples régua.
3. Utilizar das relações entre comprimento de onda e freqüência num tubo fechado para determinar-se experimentalmente uma estimativa para a velocidade de propagação do som no ar.

4. Se a escola dispuser de um computador poderia-se ainda, exibir as ondas produzidas por um auto-falante usado na extremidade do tubo de Kundt como num osciloscópio.

As fotos abaixo demonstram a viabilidade de tais experimentos quando realizadas com sucesso.



- **SOLICITAÇÕES DIVERSAS:**

Embora o projeto tenha intenção de demonstrar uma versão factível feita com material de sucata e que possa ser construída na escola (em geral precária de recursos, materiais e laboratórios de ensino) gostaríamos de construir uma versão mais elaborada para fins de demonstração a ser realizada no IFGW. Para tanto pretende-se utilizar de material disponível no Instituto, a saber aqueles disponíveis no LEI e oficinas.

Refiro-me ao uso de material emprestado disponível no LEI tais como:

1. Diapasões de alumínio ( de diferentes frequências e tamanhos)
2. Tubos transparentes do tipo *PIREX*;
3. Microfone e osciloscópio.
4. Auto-falantes; fonte; resistores; potenciômetro e outros elementos de eletrônica básica afins.
5. Uma vez que tomamos conhecimento de montagens análogas já construídas por alunos deste curso sobre ondas estacionárias, gostaríamos de estar eventualmente utilizando tais aparelhos para fins ilustrativos juntamente aos alunos em sala de aula.

• **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS e Sites da Internet:**

- “Física Mais que Divertida” – Eduardo C. Valadares;
- “Curso de Física Básica, vol 2 Fluidos, Oscilações e Ondas” – Moyses Nussenzveig;
- “Laboratório Caseiro: Tubo de ensaio adaptado como tubo de Kundt para medição da velocidade do som no ar”; Cadernos Catarinense de Ensino de Física, v. 22 n 01, 2005 – Sergio da Costa Saab, Fábio Augusto Meira Cássaro, André Maurício Brinatti.
- [http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11\\_03.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_03.asp)