

UNICAMP/IFGW

F609 – Instrumentação Para o Ensino – 2 semestre 2008.

Prof. Coordenador Responsável: Joaquim Lunazzi

Projeto: Experimentos Sobre Ondas Estáticas a Partir de Sucata:

Tubos Sonoros e Figuras de Lissajous

Prof. Orientador: Richard Landers

landers@ifi.unicamp.br

Aluno: Ebenezer F. Oliveira

ebenezer.Brasil@gmail.com

- **OBJETIVO:**

O presente projeto tem por objetivo demonstrar a viabilidade de realizar experimentos construídos a partir de sucata para auxiliar o professor a trabalhar conceitos básicos envolvendo acústica, óptica e ondas estáticas demonstradas em sala de aula.

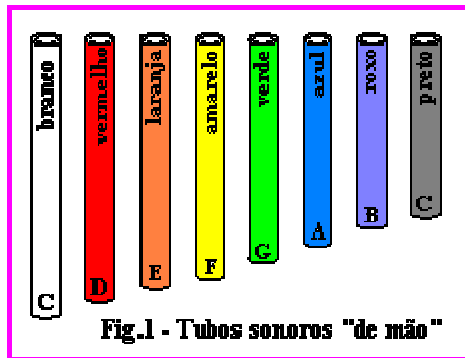
- **DESCRIÇÃO DO PROJETO:** o projeto consiste na montagem de dois equipamentos (A) e (B).

A) Tubos Sonoros Abertos:

B) Tubos Sonoros Semi-abertos : usando água e tubo em U

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 freqüências de vibração.

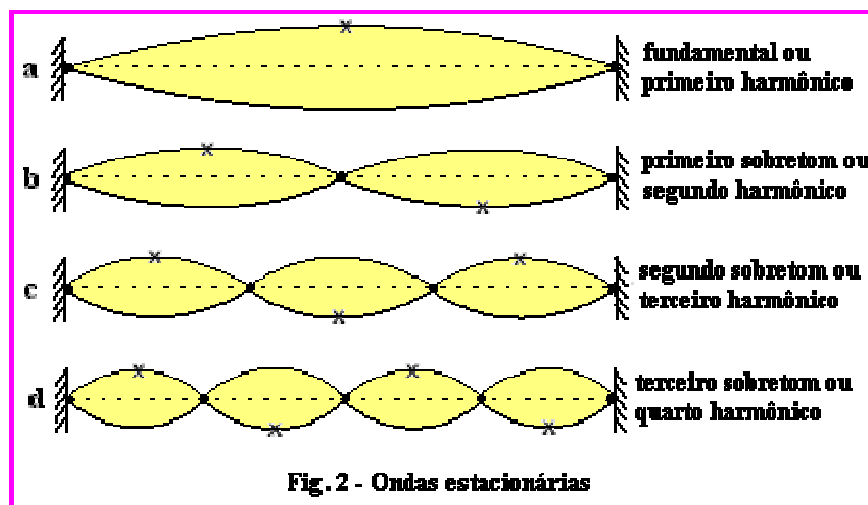
Quando espalmamos a boca de um destes tubos abertos produz-se um som audível e então é possível ilustrar propriedades de ondas estáticas como freqüência, comprimento de onda, nós, anti-nós e ventre de ondas.



- **Conceitos Físicos Envolvidos:**

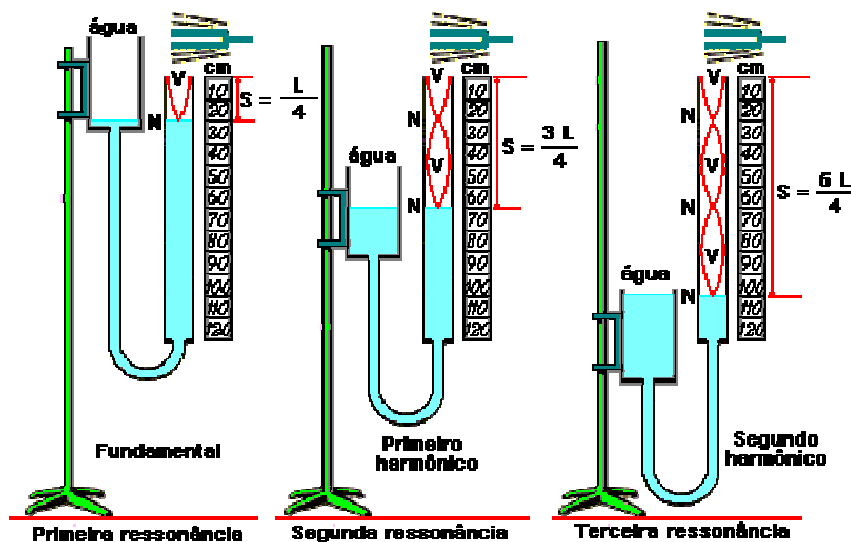
O professor poderá aproveitar a montagem para ilustrar a existência de *ondas estacionárias* e suas propriedades. Ao espalmarmos a boca de um tubo aberto o ar existente passa a vibrar gerando ondas de várias frequências dentro do mesmo. No entanto, após um tempo apenas certas frequências permanecem, 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 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.

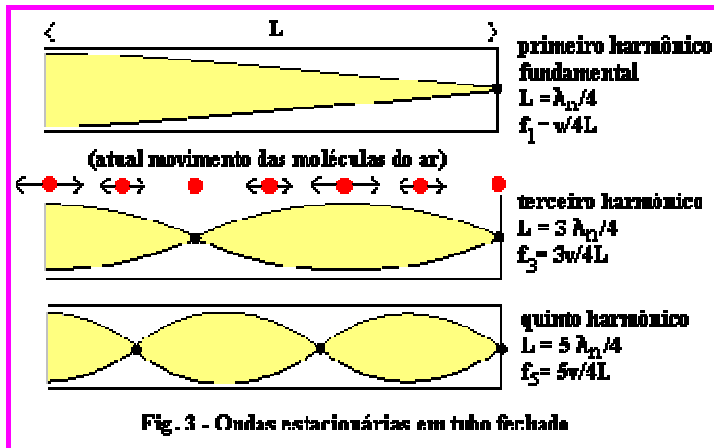


Na montagem experimental acima é possível a partir do conhecimento do comprimento da coluna de ar dentro do tubo e da velocidade de propagação do som no ar, montar relações para a freqüência de ondas estacionárias ao mesmo tempo associá-las ao *tom* acústico que é ouvido. O momento em que a freqüência de vibração dentro do tubo entra em ressonância com a freqüência 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 freqüência da onda estacionária naquele momento e o comprimento de onda medido pela altura da coluna de ar o launo 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. Contrói-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.

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

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

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 | 1/2 | | 349,2282 | 24,55 | |
| G | 1 | | 391,9954 | 21,87 | |
| A | 1 | | 440,0000 | 19,48 | |
| B | 1 | | 493,8833 | 17,36 | |
| C | 1/2 | | 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.

- **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 freqüências 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.

Além disso poderá ser necessário solicitar a construção de tais tubos pirex transparentes, se a montagem revelar que os disponíveis hoje no LEI não são convenientes e, ainda, solicitar a compra de um ou mais diapasões caso os hoje existentes tragam alguma inconveniência para a realização do experimento.

Acreditamos que todas estas limitações técnicas possam ser superadas em tempo hábil mesmo porque o professor orientador se recorda de montagens análogas já construídas no Instituto e que funcionavam perfeitamente. Tais montagens contudo, conforme revelou o técnico responsável pelo LEI, SR PEDRO, não mais se encontra disponível. Assim este é um momento oportuno para construir e recuperar tal experimento bastante simples mas ilustrativo de acústica e ondas.

- **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;
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_03.asp