

# Construção de instrumentos de sopro



para atividades experimentais

Corinne Arrouvel<sup>1</sup>, Erika Negreiros<sup>2</sup>, Eleonora Kurtenbach<sup>3</sup>, Marcos Farina<sup>4,#</sup> 

<sup>1</sup>Departamento de Física, Química e Matemática, Centro de Ciências e Tecnologia para a Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, Sorocaba, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Espaço Memorial Carlos Chagas Filho, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup>Laboratório de Biologia Molecular e Bioquímica de Proteínas, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>4</sup>Laboratório de Biomineralização, Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

## Palavras-chave

instrumentos de sopro  
tubos sonoros  
construção de instrumentos  
física do som

## Resumo

A proposta deste artigo é apresentar a construção de instrumentos de sopro utilizando materiais de fácil obtenção e baixo custo, visando estimular a percepção de características psicofísicas do som e contribuir para uma inicialização musical em ambientes diversos, como escolas do ensino básico, escolas de música, museus e espaços culturais. Abordamos o conceito de ondas sonoras e de harmônicos para representar o fenômeno ondulatório em tubos abertos e fechados. Descrevemos os fundamentos de física para o dimensionamento aproximado de diversos tubos, tendo como objetivo a produção de notas com alturas determinadas. Em particular, apresentamos o esquema de apitos afinados, diapasão de sopro, tubos do tipo flauta de Pã andina, vuvuzela, flauta doce e uma flauta transversal, com uma extensão sonora superior a duas oitavas. Como perspectivas futuras, esperamos analisar a aplicação da produção dos instrumentos de sopro em oficinas e atividades interativas com estudantes do ensino básico.

#Autor de correspondência. E-mail: marcos.farina.souza@gmail.com.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

## 1. Introdução

A música está presente em todas as culturas humanas, desde os seus primórdios. A origem da música ocidental está ligada aos gregos e sua história envolve diferentes dimensões relacionadas à história do homem em sociedade e sua relação com mu-

**A música está presente em todas as culturas humanas, e sua origem na cultura ocidental está ligada aos gregos**

danças sociais, revoluções e descobertas [1]. Para Pitágoras e seus seguidores, a música e a aritmética não eram disciplinas separadas. Os números eram considerados a chave do universo espiritual e físico e, consequentemente, o sistema dos sons e ritmos musicais, sendo regido pelo número, exemplificava

a harmonia do cosmos e correspondia a essa harmonia [2]. Apitos, flautas e o arco musical parecem ter sido os primeiros instrumentos criados pelo homem.

O som é um fenômeno psicofísico, associado a uma sensação auditiva e à perturbação em um meio material, que é a fonte dessa sensação auditiva [3]. Em física, o som é representado por ondas de pressão que se propagam num meio como o ar, e o ouvido é o receptor que entra em ressonância com as frequências que o atingem, dentro da faixa considerada audível, que, para o ouvido humano, vai de cerca de 20 Hz a 20.000 Hz (1 Hz, ou um Hertz, corresponde a uma vibração por segundo).

Com o intuito de facilitar o ensino de física e consolidar a interdisciplinaridade, diversos trabalhos têm apresentado a produção e a montagem de instrumentos musicais de baixo custo para promover o ensino de acústica, ondas sonoras, física do som, ritmo, notas musicais e melodias, articulando conhecimentos de física, música e arte [4-7]. Neste sentido, este artigo trata da construção detalhada de alguns instrumentos de sopro utilizando materiais de fácil obtenção e programas disponíveis na internet, cujos aplicativos específicos, gratuitos e de fácil acesso permitem sua afinação. O artigo pretende contribuir para a produção de materiais didáticos em física para uma introdução à física do som e seus desdobramentos.

## 2. Ondas sonoras

As ondas sonoras são ondas mecânicas, como as ondas do mar. Entretanto, diferentemente destas que são “ondas transversais”, em que a vibração das moléculas ocorre perpendicularmente à direção de propagação, as ondas sonoras são “ondas longitudinais”, nas quais a vibração das moléculas ocorre na mesma direção da propagação da energia. Fenômenos vibratórios, ou ondulatórios, como os das ondas sonoras, são representados matematicamente pelas funções seno e cosseno, ou combinações destas, com amplitudes variadas.

### 2.1. Harmônicos

Harmônicos de um som são vibrações em frequências múltiplas deste som, denominado fundamental. Qualquer tom produzido por um dado instrumento musical vem acompanhado de harmônicos, e a presença ou não de frequências harmônicas específicas e suas intensidades relativas produz a característica típica do instrumento que permite identificá-lo, denominada timbre. Ondas geradas no interior de tubos sonoros (apitos, flauta, clarineta, etc.) são denominadas ondas estacionárias. Elas têm nós e ventres, e seus comprimentos de onda dependem das dimensões dos tubos e do tipo de tubo, se aberto nas duas extremidades (como

na flauta transversal) ou fechado em uma delas (como nas flautas de Pã andinas) (Fig. 1).

Verificamos pela Fig. 1B que, no tubo aberto, tanto harmônicos pares quanto ímpares podem estar presentes. Por outro lado, na modalidade “tubo fechado”,

como nas flautas de Pã andinas, somente os harmônicos ímpares estão presentes (Fig. 1C). Este segundo caso é semelhante ao que ocorre no “meato acústico externo” de nossa orelha (região anatômica que vai da orelha externa até à membrana timpânica). Este tubo é aberto na extremidade do pavilhão da orelha externa e fechado na região da membrana timpânica. Conseqüentemente, promove uma

ressonância em frequências em torno de 3400 Hz, as quais são de grande importância na distinção dos fonemas da fala.

## 3. Fórmulas

Temos

$$T = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

onde  $T$  é o período (tempo para completar uma vibração);  $f$  é a frequência (número de vibrações por segundo, inverso do período);  $v = \lambda/T$  ou  $v = \lambda f$ , onde  $v$  é a velocidade e  $\lambda$  é o comprimento de onda.

O estado fundamental de uma onda estacionária num determinado tubo é a menor frequência de vibração possível no seu interior. No tubo aberto (Fig. 1B), um comprimento de onda corresponde ao dobro do comprimento do tubo ( $\lambda = 2L$ ). O nó correspondente a esta frequência (quando se representa o fenômeno como a distribuição das velocidades do ar no tubo) se encontra equidistante das extremidades abertas. Por outro lado, num tubo com uma extremidade fechada (Fig. 1C), o comprimento de onda fundamental vale  $\lambda = 4L$ . Essas relações servem para definir o comprimento  $L$  do tubo, a ser usado na construção de um instrumento de sopro, considerando uma frequência fundamental desejada. Para os cálculos, devemos conhecer o valor da velocidade do som no ar, a qual pode flutuar um pouco em função da temperatura. Por exemplo, a velocidade do som no ar a 15 °C é de 340 m/s; a 30 °C é de 349 m/s, e a 37 °C, de 353,2 m/s.

Usando a referência da nota Lá (A4),  $f(A4) = 440$  Hz, as outras notas da escala podem ser obtidas a partir dela pela sequência de intervalos de quinta. Um intervalo ascendente de quinta (por exemplo, Dó → Sol) equivale a uma razão entre as frequências (Sol/Dó) de 3/2. Utilizando as fórmulas descritas anteriormente, obtemos que a razão entre os comprimentos de onda para o mesmo intervalo será de 2/3. Os valores para as frequências obtidas, tanto pela sequência de quintas (Escala Pitagórica) quanto pelo igual temperamento

**Trataremos da construção detalhada de alguns instrumentos de sopro utilizando materiais de fácil obtenção e programas disponíveis na internet, cujos aplicativos específicos gratuitos, permitem sua afinação**

(razão entre a frequência de um tom e seu vizinho é a mesma ao longo da escala), estão representados na

Tabela 1, iniciando pelo tom de referência A4 (nota Lá imediatamente à direita da chave do piano).

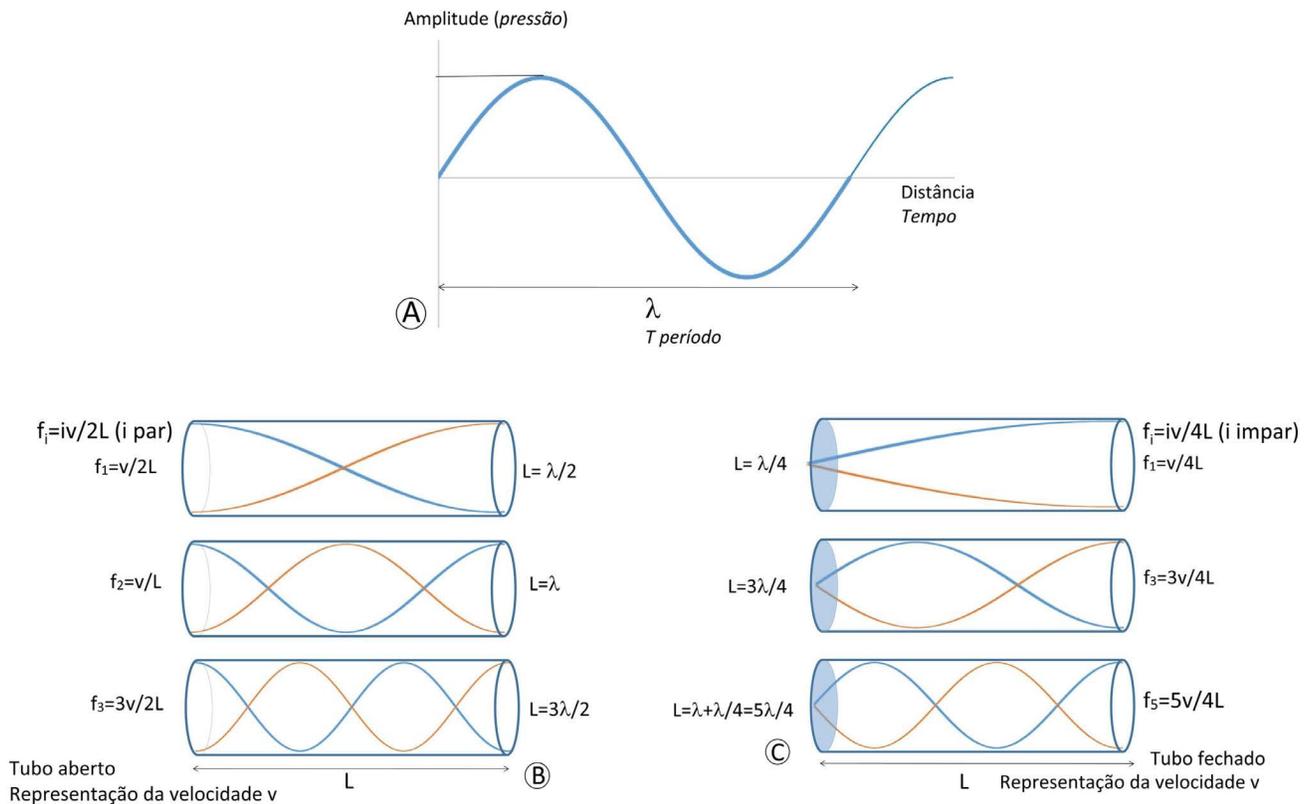


Figura 1 - Representação do fenômeno ondulatório e harmônico em tubos abertos e fechados. A) Representação da onda pela função seno. No eixo das abcissas está representada a distância percorrida pela onda e no eixo das ordenadas, a amplitude (e.g. a variação da pressão do ar); B) Representação das velocidades do ar dentro de um tubo aberto (e.g. flauta transversal); C) Representação das velocidades do ar no tubo fechado (e.g. flauta de Pã). L: comprimento do tubo, V: ventre (regiões de amplitude máxima), N: nó (regiões de amplitude zero),  $\lambda$ : comprimento de onda das componentes possíveis presentes no tubo.

Tabela 1: Frequências das notas de uma escala cromática, iniciando pela nota Lá (440 Hz), usando a notação: C (Dó), D (Ré), E (Mi), F (Fá), G (Sol), A (Lá), B (Si), os símbolos # (sustenido) e b (bemo). As frequências da Escala Pitagórica são obtidas pelo “ciclo das quintas” multiplicando-se a frequência de referência por  $(3/2)^n$  (exemplo: A4 = 440 Hz; E4 = 440 x 3/2 = 660 Hz). As frequências da Escala Temperada seguem o princípio baseado em uma progressão geométrica, no qual as razões entre as frequências de quaisquer notas e suas antecessora devem ser iguais. Considerando que há 12 notas em uma oitava, esta razão deve ser  $\sqrt[12]{2}$ , pois a multiplicação deste valor por ele mesmo 12 vezes nos dará o número dois, que corresponde à nota original, uma oitava acima.

Tons	Escala Pitagórica		Escala temperada		
	Fator multiplicativo	Frequência	Fator multiplicativo	Frequência	Nº de semitons
A4	1,0	440,0 Hz	1,0	440,00 Hz	0
A#4/Bb4	$(256/243) = 1,05350$	463,54 Hz	$(\sqrt[12]{2})^1 = 1,05946$	466,16 Hz	1
B4	$(3/2) \times (3/2) : 2 = (9/8) = 1,1250$	495 Hz	$(\sqrt[12]{2})^2 = 1,12246$	493,88 Hz	2
C5	$(9/8) \times (256/243) = (32/27) = 1,18519$	521,48 Hz	$(\sqrt[12]{2})^3 = 1,18921$	523,25 Hz	3
C#5/Db5	$(27/16) \times (3/2) : 2 = (81/64) = 1,26563$	556,88 Hz	$(\sqrt[12]{2})^4 = 1,25992$	554,37 Hz	4
D5	$(4/3) = 1,33333$	586,67 Hz	$(\sqrt[12]{2})^5 = 1,33484$	587,33 Hz	5
D#5/Eb5	$(243/128) \times (3/2) : 2 = (729/512) = 1,42383$	626,49 Hz	$(\sqrt[12]{2})^6 = 1,41421$	622,25 Hz	6
E5	$3/2 = 1,500$	660,00 Hz	$(\sqrt[12]{2})^7 = 1,49831$	659,26 Hz	7
F5	$(256/243) \times (3/2) = 1,58025$	695,31 Hz	$(\sqrt[12]{2})^8 = 1,8740$	698,46 Hz	8
F#5/Gb5	$(9/8) \times (3/2) = (27/16) = 1,68750$	742,5 Hz	$(\sqrt[12]{2})^9 = 1,68179$	739,99 Hz	9
G5	$(32/27) \times (3/2) = (16/9) = 1,77778$	782,22 Hz	$(\sqrt[12]{2})^{10} = 1,8180$	783,99 Hz	10
G#5/Ab5	$(81/64) \times (3/2) : 2 = (243/128) = 1,89844$	835,31 Hz	$(\sqrt[12]{2})^{11} = 1,8775$	830,61 Hz	11
A5	2,0	880,0 Hz	$(\sqrt[12]{2})^{12} = 2,0$	880,00 Hz	12

## 4. Objetivos

O objetivo geral deste artigo é apresentar a construção de instrumentos de sopro com materiais de fácil obtenção, visando estimular o interesse dos estudantes pela física, pela percepção de características psicofísicas do som e pela música. Como objetivos específicos, citamos: 1) Identificar características do som como altura, intensidade e timbre; 2) Discutir a noção de intervalos sonoros; 3) Diferenciar entre frequências harmônicas produzidas pelo tubo aberto e pelo tubo fechado; 4) Apresentar a importância e utilização de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) na área de acústica aplicada à afinação de instrumentos.

## 5. Materiais

Componentes dos instrumentos: tubo PVC marrom-1 (diâmetro externo 40,3 mm; diâmetro interno 34 mm); tubo PVC branco - 1 (diâmetro externo  $\approx 34,2$  mm; diâmetro interno 25,7 mm); tubo PVC marrom-2 (diâmetro externo 1 pol = 2,54 cm; diâmetro interno  $\approx 2,1$  cm); tubo PVC branco-2 (diâmetro externo  $\approx 21$  mm; diâmetro interno 15,5 mm); tubo PVC branco-3 (diâmetro externo  $\approx 15$  mm; diâmetro interno 11,5 mm); cabo de vassoura de madeira (diâmetro 22,5 mm); rolha de cortiça (diâmetros variados); membranas para vuvuzela (bolas de soprar adquiridas em papeliarias).

Ferramentas e acessórios: furadeira (preferência por furadeira de bancada; caso use furadeira manual, deve fazer um pequeno orifício no ponto a ser perfurado, para fixar a broca); broca chata (5/16) pol  $\approx 8,0$  mm); limas (lima com seção triangular, lima comum para acabamento nas extremidades e ajuste fino do comprimento de tubos sonoros, para afinação); serras (serra comum para cortar os tubos de plástico); cortador de cano metálico e de plástico (equipamento essencial para substituir a serra, evitando a poluição causada por pó de plástico); cola tipo Araldite<sup>®</sup>; massa do tipo Durepoxi<sup>®</sup>. As fotografias e esquemas deste trabalho foram produzidos por Marcos Farina, com exceção da Fig. 1, produzida por Corinne Arrouvel.

## 6. Produção de instrumentos

Nesta seção, detalhamos a construção de alguns instrumentos de sopro com materiais de fácil obtenção e baixo custo.

### 6.1. Apitos de som fixo ou variável

Com auxílio da serra ou do cortador de cano, obter um fragmento do tubo PVC marrom-2, de 6 cm de comprimento, e produzir um sulco de 0,5 cm perpendicularmente ao eixo do tubo, a 1,2 cm de uma de suas extremidades. Com a serra, realizar um corte oblíquo, cerca de 60 graus em relação ao corte original (30 graus em relação ao eixo do tubo), gerando um sulco oblíquo ao eixo do tubo, como visto nas Figs. 2C e 3A-B.

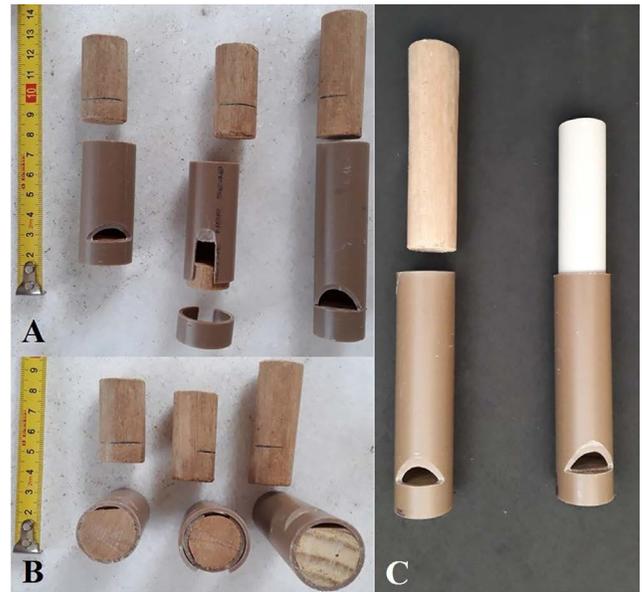


Figura 2 - Exemplos de apitos de som único ou variável. A) Três apitos de som único, usando o tubo PVC marrom-2 e cilindros de madeira (cabos de vassoura) que se encaixam no interior. Em cada cilindro há uma marcação para determinar a parte a ser introduzida e fixada no tubo, para gerar a nota desejada. Notar a diferença entre a embocadura do objeto central em relação às duas outras; B) Instrumentos da Fig. 2A, observados a partir da extremidade de sopro. C) Dois apitos de tons variáveis, compostos de tubos com êmbolo deslizante. No caso do uso do êmbolo branco (tubo PVC branco-2), a extremidade introduzida no tubo PVC marrom-2 deverá ser fechada com massa tipo Durepoxi<sup>®</sup>. Os apitos podem ser afinados em mais de uma nota, usando afinadores digitais disponíveis na internet. Sugere-se fazer marcações no êmbolo para as posições correspondentes às notas de interesse (como na Fig. 2A-B).

Com a lima de seção triangular, realizar um polimento na junção das regiões cortadas. Com a lima fina, realizar o acabamento na parte restante. Nesta mesma extremidade, que será o bocal do apito, introduzir uma peça cilíndrica de 1,2 cm cortada do cabo de vassoura. No entanto, antes de introduzir esta peça, deve-se realizar um rebaixamento plano nela, paralelo ao eixo do cilindro, com cerca de 1,2 mm. Este rebaixamento pode ser feito no cabo de vassoura original, com uma lima, antes de cortá-lo. A Fig. 3B mostra a forma de encaixe no tubo.

Na extremidade oposta ao bocal, introduzir um cilindro de madeira obtido do mesmo cabo de vassoura até a posição que gere um tom desejado. Ao final, cortar com a serra a parte do cabo de madeira excedente ao limite do tubo (Fig. 3). Caso o encaixe não esteja rígido, utilizar uma cola do tipo Araldite<sup>®</sup>.

No caso de apito de som variável (Fig. 2C), sugere-se a utilização do êmbolo formado pelo tubo PVC branco-2, que deslizará com facilidade no interior do tubo PVC marrom-2. O êmbolo deve ser vedado na extremidade que é introduzida no corpo do tubo do apito.



Figura 3 - Detalhes da embocadura e do êmbolo de um apito típico (tubo PVC marrom-2). A) Extremidade do êmbolo. A parte de madeira para vedação está parcialmente retirada para mostrar seu encaixe; B) Detalhe da região de sopro (pequena fenda entre a madeira e a parede interna do tubo) e do corte oblíquo compondo a região de geração do som. O dedo polegar dá a ideia da dimensão do apito.

## 6.2. Tubos fechados afinados tipo flautas de Pã ou zamponha

Como visto na Fig. 1C, o som fundamental gerado em tubos fechados apresenta comprimento de onda  $4L$  (quatro vezes o comprimento do tubo). Assim, é possível estimar o comprimento de tubos para a produção de frequências sonoras específicas. Isto permite criar sequências de tubos com tons desejados, como nas zamponhas, instrumentos de sopro típicos de andinos da América Latina (Fig. 4A-B).

Vários tubos com as respectivas afinações estão representados na Fig. 4B. Utilizando a relação  $v = \lambda \times f$  onde  $v$  é velocidade do som no ar  $\approx 340$  m/s,  $\lambda$  é o comprimento de onda dentro do tubo ( $4 \times$  comprimento do tubo  $L$ ) e  $f$  é a frequência do som em Hertz, podemos estimar o comprimento do tubo para gerar uma dada frequência. Por exemplo, para 440 Hz, nota Lá, utilizada como referência para afinação de instrumentos musicais, teremos:  $340 \text{ m/s} = 4 \times L \times 440 \text{ s}^{-1} \rightarrow L = 340 / (4 \times 440) = 19,3$  cm.

Este é um valor que deve ser tomado como referência. Na prática, caso deseje obter um tubo para afinação, do tipo flauta de Pã, deve-se cortar um tubo PVC branco-3 num comprimento ligeiramente superior e ir diminuindo este comprimento com uma lixa ou lima, controlando a frequência com o medidor digital. Atualmente há a possibilidade de afinar os instrumentos musicais com auxílio da internet (Fig. 5C).

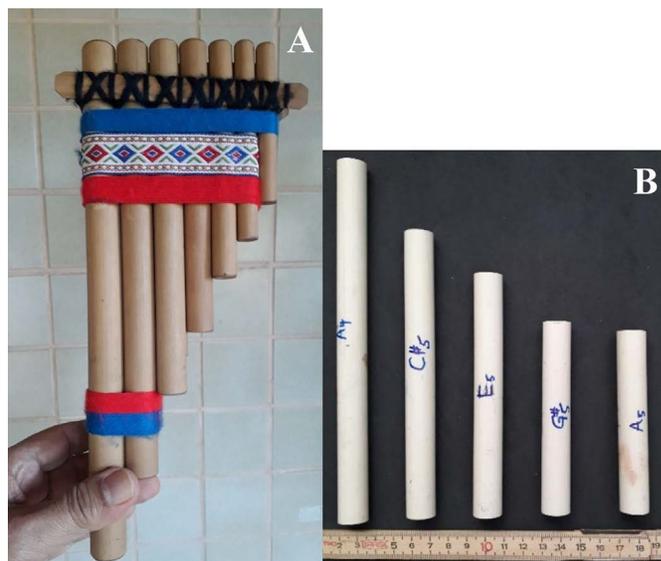


Figura 4 - Tubos abertos em uma extremidade e fechados em outra (denominados “tubos fechados”). A) Zamponha ou flauta de Pã, de origem peruana; B) A imagem apresenta tubos que produzem tons específicos, por exemplo, A4 (440 Hz), o primeiro tubo à esquerda. Esta é a frequência do “Lá fundamental”, frequência de referência para afinação de instrumentos musicais.

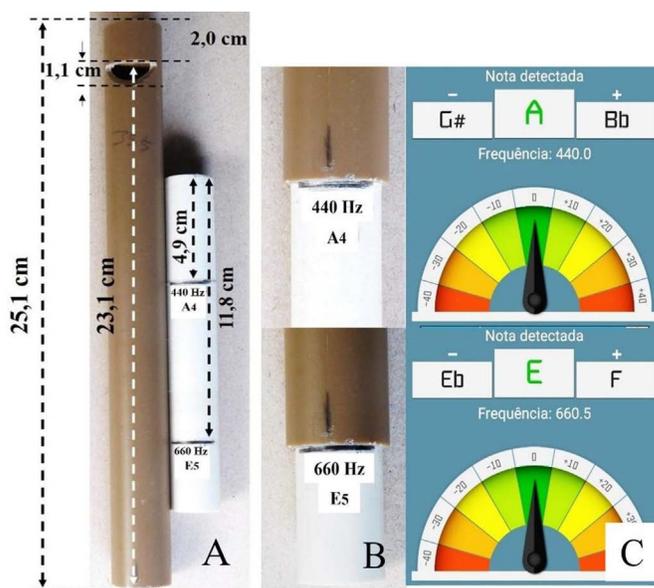


Figura 5 - Representação de apito (tubo PVC marrom-2) com êmbolo móvel (tubo PVC branco-2) vedado com massa Dur-epoxi<sup>®</sup> na extremidade superior da imagem. A) No êmbolo, as duas linhas representam os tons de 440Hz (A4: nota Lá de referência) e 660Hz (E5: nota Mi, um intervalo de quinta acima, o que é equivalente a uma frequência  $3/2$  da anterior e comprimento de onda  $3/2$  do anterior). B) Para gerar os tons indicados, o êmbolo deve ser introduzido no tubo até as marcações indicadas para cada frequência. C) Frequências medidas para o som gerado com o êmbolo posicionado em cada uma das posições indicadas em 5B. O afinador pode ser obtido em <https://play.google.com/store/apps/details?id=lior.hai.soundanalyzertest&gl=US>.

### 6.3. Afinador de sopro de som variável

O diapasão é um instrumento que produz um som com uma frequência determinada e utilizado na afinação de instrumentos musicais. O diapasão convencional é metálico, tem a forma de uma forquilha e produz um som com frequência pura. Neste artigo, propomos a construção de um diapasão formado por um apito de tom variável, onde algumas notas fundamentais correspondentes a frequências escolhidas são produzidas, por exemplo, 440 Hz.

Propomos a construção de um diapasão formado por um apito de som variável, ou seja, um “tubo fechado” com um êmbolo móvel (Fig. 5). Usando um tubo PVC marrom-2 com 25 cm de comprimento, podemos gerar diversos sons pela movimentação do êmbolo móvel (Fig. 5), e, com auxílio de um afinador digital obtido gratuitamente na internet, também podemos verificar, experimentalmente, a posição em que se deve fixar o êmbolo para obter a frequência desejada (Fig. 5).

### 6.4. Vuvuzela

A vuvuzela é um instrumento cuja origem está nos berrantes de tribos ancestrais sul-africanas, e é tradicionalmente feito com o chifre da pala-pala, sendo conhecida no sul de Moçambique como *xipalapala*. Esse instrumento fez um grande sucesso na copa do mundo de futebol em 2010, na África do Sul. Diversos vídeos

disponíveis na internet ensinam a construir uma vuvuzela. Aqui, mostramos uma construção usando tubos concêntricos (Figs. 6 e 7). Na Fig. 7, damos duas sugestões de dimensões e combinações de tubos para sua construção. A vuvuzela proposta neste artigo é formada por 3 tubos concêntricos com comprimentos diferentes. O tubo interno é ligeiramente mais longo do que o externo, e o tubo intermediário, bem mais curto do que ambos.

### 6.5. Flauta transversal

A flauta transversal é considerada um tubo aberto, com relação à presença dos harmônicos associados a um determinado som fundamental. A Fig. 8 apresenta as dimensões de uma flauta transversal construída utilizando-se um tubo de plástico com orifícios em locais específicos para a geração das notas desejadas. Na extremidade de sopro, à esquerda do orifício de entrada do ar, ela é vedada para a região exterior, utilizando, para isso, um cilindro de cortiça produzido a partir de uma rolha de garrafa de vinho.

Para o ajuste fino das frequências geradas pelo instrumento, é importante utilizar um afinador do tipo informado na legenda da Fig. 5. O uso de um afinador digital permitirá realizar ajustes finais em detalhes das dimensões do instrumento, que envolvem pequenos ajustes na posição e no diâmetro dos orifícios, e do

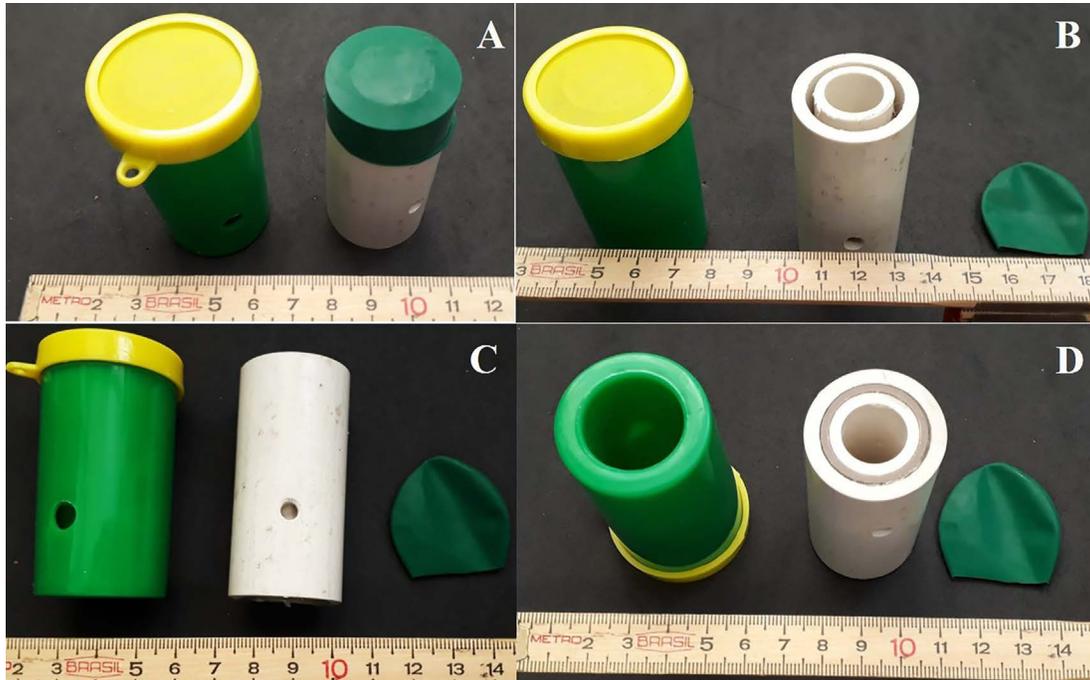


Figura 6 - Dois modelos de vuvuzela. O que está representado em verde e amarelo é o tipo comercial feito em plástico fino. O modelo branco é o proposto neste artigo. É formado por três tubos com diâmetros e comprimentos diferentes (detalhes de dimensões na Fig. 7). A) Visão superior com as membranas elásticas (amarela e verde) colocadas; B) A membrana do tubo branco foi retirada para observação da extremidade correspondente; C) Visão lateral dos instrumentos com os orifícios de entrada do ar. D) Visão da extremidade oposta à das Figs. 6A e 6B, próxima à região de entrada do ar. Notar em (B) e (D) a membrana elástica (bola de soprar cortada) separada da parte tubular.

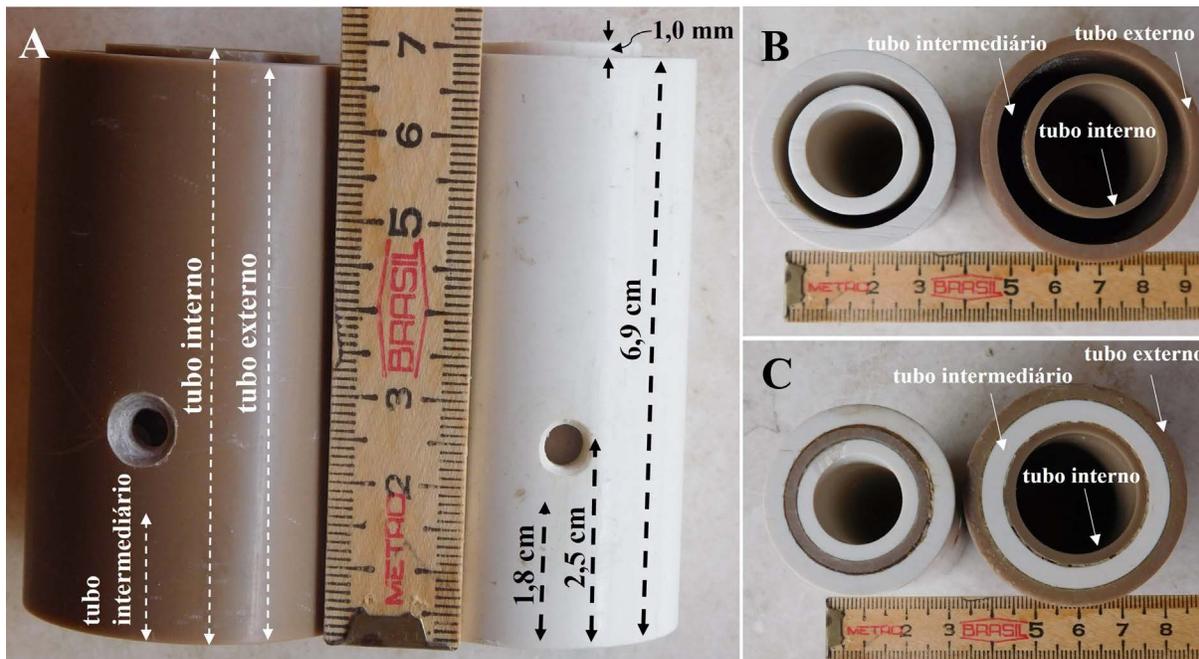


Figura 7 - Dimensões de duas vuvuzelas com larguras totais diferentes (na Fig. 7A, à esquerda: tubo PVC marrom-1 e na Fig. A, à direita: PVC branco-1). A) Vuvuzela com tubo externo branco (PVC branco-1): comprimento do tubo externo (6,9 cm), protuberância do tubo interno (1 mm), posição do orifício de sopro (2,5 cm), comprimento do tubo intermediário (1,8 cm); B) Detalhes dos diâmetros dos tubos e dos tamanhos relativos das duas vuvuzelas. Notar que alguns tubos são comuns a ambos os instrumentos; C) Visão da extremidade oposta à mostrada em 7B.

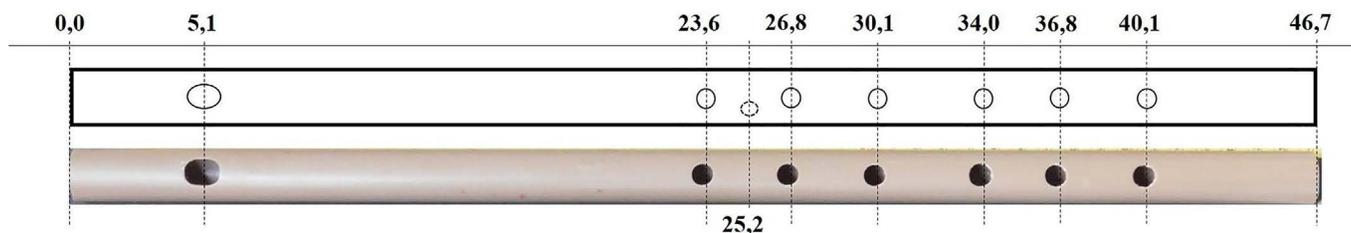


Figura 8 - Flauta construída com o tubo PVC marrom-2. A extremidade de sopro, à esquerda na imagem acima, contém uma rolha de cortiça de 4 cm de comprimento, vedando o tubo, e cuja extremidade interior fica aproximadamente a 3 mm do início do orifício de sopro. A nota fundamental (mais grave) desta flauta correspondente ao tubo com os buracos fechados (com exceção do bocal) é a nota Sol (G4 aproximadamente 391 Hz).

posicionamento da rolha de cortiça em relação ao orifício de sopro.

Na Fig. 9, apresentamos o dedilhado (digitação) para as notas produzidas pela flauta apresentada no artigo. As duas linhas abaixo, com a sequência de notas associadas às posições dos dedos, indicam (de cima para baixo) respectivamente: a) sequência de posições comparativas com a da flauta transversal em Dó (C), iniciando pela nota Ré (D), e b) tons reais produzidos pela flauta com as dimensões descritas na Fig. 8.

## 7. Flautas populares pelo mundo

A título de comparação das embocaduras dos instrumentos de sopro, apresentados neste trabalho, com as embocaduras de flautas pelo mundo, apresentamos as Figs. 10 e 11. Podemos ver que o presente

trabalho é representativo, neste aspecto, particularmente em flautas populares.

## 8. Conclusões

Usando os instrumentos produzidos neste artigo, será possível realizar diversas atividades práticas, tanto em aspectos da física do som (reconhecimento de tons, cálculo e construção de tubos abertos/fechados para gerar frequências sonoras específicas) quanto em aspectos psicofísicos (treinamento para a percepção de características do som, intervalos, acordes e sua reprodução nos instrumentos fabricados, bem como, no sentido inverso, afinação dos instrumentos produzidos em tons determinados visando gerar os intervalos, padrões sonoros e acordes desejados). A combinação de melodias/acordes gerados, com padrões rítmicos, contribui-

