

Francisco Nairon Monteiro Júnior  
William Pacheco dos Santos  
Joel Vieira de Araújo Filho  
Luciano Sedraz Silva  
Vinícius de Oliveira Moraes  
Karine Wagner Oliveira Alves de Melo  
Elyzabelly Renatta Lucena da Silva  
Josué Mendes da Silva

# FÍSICA, MÚSICA E EDUCAÇÃO SONORA



Recife  
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO

# FÍSICA, MÚSICA E EDUCAÇÃO SONORA

Francisco Nairon Monteiro Júnior  
William Pacheco dos Santos  
Joel Vieira de Araújo Filho  
Luciano Sedraz Silva  
Vinícius de Oliveira Moraes  
Karine Wagner Oliveira Alves de Melo  
Elyzabelly Renatta Lucena da Silva  
Josué Mendes da Silva

Recife  
2023



**Universidade Federal Rural de Pernambuco**  
Editora Universitária

**Prof. Marcelo Brito Carneiro Leão**

Reitor da UFRPE

**Prof. Gabriel Rivas de Melo**

Vice-Reitor

**Edson Cordeiro do Nascimento**

Diretor do Sistema de Bibliotecas da UFRPE

**Antão Marcelo Freitas Athayde Cavalcanti**

Diretor da Editora da UFRPE

**José Abmael de Araújo**

Coordenador Administrativo da Editora da UFRPE

**Josuel Pereira de Souza**

Chefe de Produção Gráfica da Editora da UFRPE

**Janilson Lemos de Araújo Silva**

Diagramação

**Conselho Editorial da EDUFRPE**

Prof<sup>ª</sup> Dra. Ivanda Maria Martins Silva

Prof<sup>ª</sup> Dra. Maria do Rosario de Fátima Andrade Leitão

Prof<sup>ª</sup> Dra. Mariana Zerbone Alves de Albuquerque

Prof<sup>ª</sup> Dra. Monica Lopes Folea Araújo

Prof<sup>ª</sup> Dra. Renata Pimentel Teixeira

Prof<sup>ª</sup> Dra. Soraya Giovanetti El-Deir

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE

Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

F537 Física, música e educação sonora / Francisco Nairon Monteiro Júnior... [et.al.]. – 1. ed. - Recife: EDUFRPE, 2023.  
156 p.: il.

ISBN nº 978-65-86547-84-9

Inclui bibliografia.

Obra publicada em e-book.

1. Física – Estudo e ensino 2. Música – Instrução e estudo  
3. Educação – Estudo e ensino 4. Ecologia – Estudo e ensino  
5. Som I. Monteiro Júnior, Francisco Nairon

CDD 530.7

# APRESENTAÇÃO

O presente material de apoio foi desenvolvido com o intuito de ofertar aos alunos da disciplina optativa “Física, Música e Educação Sonora”, código 05499, do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, um conjunto de atividades experimentais a serem desenvolvidas ao longo da disciplina, que convidam à reflexão em torno das relações entre ciência, cultura e os estudos de paisagens sonoras.

Nasce, portanto, como um aporte teórico-reflexivo que convida à análise do som enquanto fenômeno e cujo entendimento mais completo só pode se dar a partir do diálogo entre física e neurofisiologia, bases teóricas da psicoacústica, ciência que busca entender as relações entre o estímulo físico (onda de pressão) e a resposta neurofisiológica (som enquanto sensação). Além disso, avançamos em direção à reflexão em torno da interpretação cultural da experiência auditiva e do conceito de consciência sonora, a partir do diálogo entre os conceitos de consciência em Freire (2014) (Edmund Husserl) e em Raymond Schafer (2012) (as funções da escuta de Pierre Schaeffer), de onde nascem os conceitos de objeto sonoro, evento sonoro e paisagem sonora, em busca do desenvolvimento de consciências ecológicas sonoras, nos moldes da ecologia profunda de Fritjof Capra, valorizando a relação entre música e meio ambiente a partir das contribuições de Marisa Fonterrada.

Não pretendemos esgotar cada uma das interfaces, mas propor aos estudantes um aporte que lhes permita entrar futuramente numa sala de aula, quando formados, e terem condições de avançar para além dos tradicionais conteúdos de acústica dos livros didáticos. Portanto, não se trata de uma disciplina da física acústica, mas de uma disciplina da formação do professor, rica de relações CTSA, valorizando as experiências sonoras dos estudantes, a análise das paisagens sonoras, a escuta pensante por meio da sensibilização da audição, compreendendo as dimensões científica e cultural da escuta.

O que se busca é o olhar para trás, enquanto seres conscientes que buscam entender os problemas do ruído ambiental e pensar formas de melhorar a qualidade das paisagens sonoras, consistindo numa boa aventura para as futuras gerações. É nesta perspectiva que a educação ambiental sonora dialoga com os estudos de paisagens sonoras no desen-

volvimento de atividades didáticas voltadas à prática da escuta pensante, em direção à construção de níveis de consciência auditiva, para que as pessoas sejam capazes de decidir sobre quais sons desejam estimular e quais desejam retirar de suas paisagens sonoras, atuando conscientemente no embelezamento do mundo. Se, de um lado, temos os estudos de paisagens sonoras como fundamento para a educação sonora, da qual nascem os exercícios de sensibilização da audição como meio para a construção de consciências auditivas, de outro, temos os estudos em bioacústica, os quais apontam para as consequências dos desequilíbrios causados pela ação ruidosa das sociedades modernas nos ecossistemas. A interpretação da informação acústica tem uma importância fundamental no pensar auditivo voltado para a preservação da qualidade de vida, principalmente nos ambientes urbanos. Neste sentido, a consciência auditiva pode levar os indivíduos e comunidades à busca de ações políticas que busquem minimizar os efeitos maléficos dos ruídos gerados pelas sociedades. Nasce, deste cenário urgente, a necessidade de mudança. Parece-nos que um possível caminho seria o do desenvolvimento, nas pessoas, de níveis de consciência auditiva capazes de transformá-las de agentes ruidosos a políciadores da qualidade sonora dos ambientes, numa ação significativa em direção à educação ambiental sonora.

Agradeço a contribuição de William na discussão sobre as funções da escuta, que deram origem às atividades da aula 11, de Joel no estudo da corda vibrante, que deu origem à aula 19, de Luciano na organização dos seminários sobre os estudos de paisagens sonoras, e de Vinicius no desenvolvimento das atividades didáticas envolvendo a kalimba, constituindo-se na aula 23. Agradeço também às educadoras sonoras Karine e Elyza pelas contribuições envolvendo os exercícios de sensibilização da escuta, que culminaram nas sínteses das aulas 09, 27 e 28. Por fim, agradeço a Josué pelas contribuições na construção da aula 13, na qual são discutidos os fundamentos da linguagem musical. Agradeço profundamente a presença de vocês durante as primeiras ofertas da disciplina “Física, música e educação sonora”, que serviram de laboratório para o desenvolvimento do presente material didático.

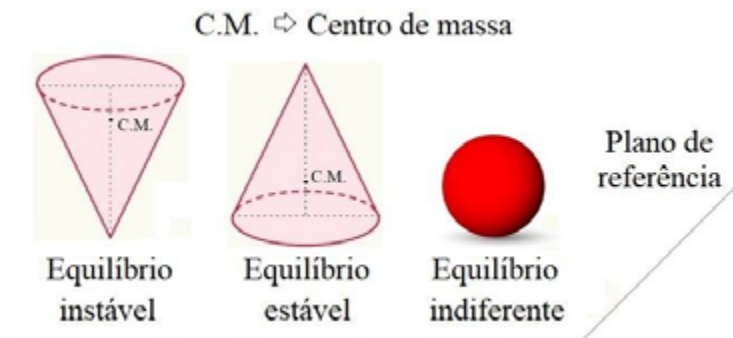
Nairon.

# ÍNDICE

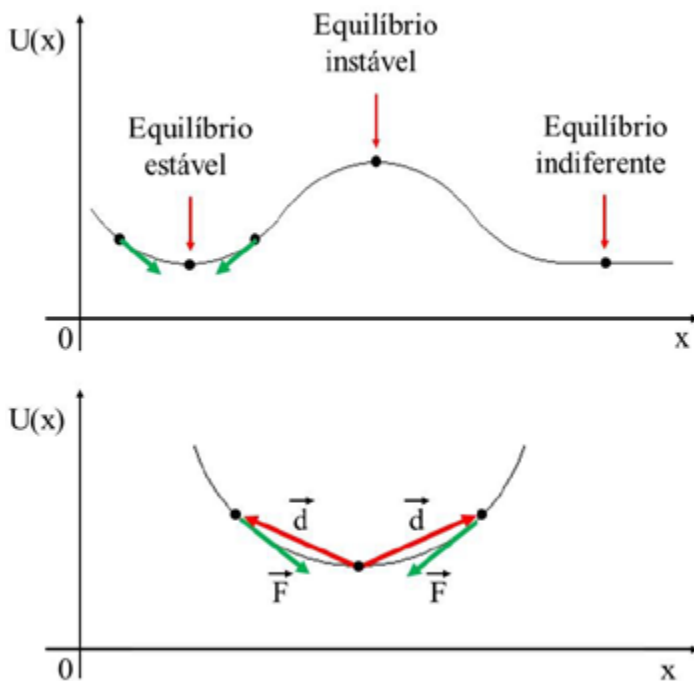
Aula 01: Oscilador harmônico.....	6
Aula 02: A afinação do mundo .....	12
Aula 03: Natureza, propagação do som e a medição da sua velocidade.....	15
Aula 04: A paisagem sonora natural e os sons da vida .....	17
Aula 05: A percepção do volume e da altura.....	19
Aula 06: As paisagens sonoras rurais e dos vilarejos .....	22
Aula 07: A percepção do timbre.....	24
Aula 08: As revoluções industriais e a superpopulação de sons .....	29
Aula 09: Registro e classificação de paisagens sonoras.....	33
Aula 10: Notação e classificação dos sons.....	37
Aula 11: As quatro funções da escuta, objeto sonoro e objeto musical.....	41
Aula 12: Percepção e morfologia sonora .....	50
Aula 13: A linguagem musical .....	54
Aula 14: Signos, símbolos e sinais acústicos .....	65
Aula 15: A escala musical de igual temperamento.....	67
Aula 16: A comunidade acústica .....	78
Aula 17: Princípios da harmonia musical.....	80
Aula 18: Ritmo, tempo e o projetista acústico.....	99
Aula 19: Modos normais de vibração de uma corda e a escala do violão ....	102
Aula 20: O jardim sonoro .....	118
Aula 21: Modos normais de vibração num tubo sonoro.....	120
Aula 22: A flauta andina .....	126
Aula 23: Os lamelofones .....	130
Aula 24: Os instrumentos musicais enquanto acrescentamentos culturais ..	140
Aula 25: Música e meio ambiente - ecologia sonora .....	142
Aula 26: Compondo e encenando um teatro sonoro.....	143
Aula 27: Onomatopeias - uma interpretação multicultural do som.....	144
Aula 28: ASMR - o som além do som.....	148
Aula 29: Mapas sonográficos.....	151
Aula 30: Jogo da memória auditiva .....	153
Bibliografia.....	155

Nesta primeira aula tratamos dos conceitos da acústica física mais fundamentais no estudo das ondas sonoras, bem como dos desdobramentos dos estudos de paisagens sonoras, quais sejam os conceitos de frequência e amplitude. Tratamos também de seus correlatos da acústica musical, que são os conceitos de altura e volume. Escolhemos, para este fim, o oscilador harmônico, por ser um importantíssimo marco histórico do início dos estudos da acústica.

O equilíbrio mecânico pode ser de três tipos: instável, estável e indiferente. A diferenciação entre eles pode ser visualizada com o auxílio de um cone reto e de uma esfera, como mostra a figura a seguir. Qual a relação entre cada um dos três tipos de equilíbrio e a energia potencial gravitacional medida do centro de massa do corpo ao plano de referência? No caso do equilíbrio instável, o centro de massa encontra-se na mais alta posição em relação ao plano de referência, ou seja, na posição de maior energia potencial. Se tal cone for deslocado da posição de equilíbrio e, então, liberado, ele não retornará sozinho. No caso do equilíbrio estável, o centro de massa encontra-se na posição mais baixa em relação ao plano de referência, ou seja, na posição de menor energia potencial. Uma vez deslocado levemente desta posição e, então, liberado, seu movimento se dará de volta à posição de equilíbrio, sendo, portanto, um movimento restaurador. No equilíbrio indiferente, como no caso da esfera, qualquer que seja a posição em que for colocada, a altura do seu centro de massa em relação ao plano de referência não se altera, ou seja, sua energia potencial será sempre a mesma, e, portanto, permanecerá em repouso.



No caso de um sistema em equilíbrio estável, quando deslocado de sua posição de equilíbrio, aparecerá uma força, denominada restauradora,  $F = -k \cdot x$ , a qual acelerará o corpo de volta ao equilíbrio, o que acarretará no movimento harmônico simples. Tal força será proporcional e contrária ao vetor deslocamento, medido a partir da posição de equilíbrio. No primeiro dos dois gráficos a seguir estão caracterizados os três tipos de equilíbrio em termos da energia potencial em função da posição. Observe que o equilíbrio estável se caracteriza por ser um ponto de energia potencial mínima.



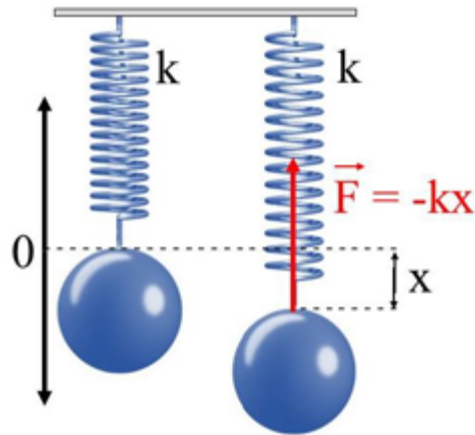
Para pequenos deslocamentos em torno da posição de equilíbrio, o oscilador obedecerá aproximadamente à lei de Hooke. No detalhe do segundo gráfico podemos observar que para deslocamentos à direita ou à esquerda do ponto de equilíbrio, aparece uma força restauradora que tende a levar a partícula de volta ao ponto de equilíbrio. Desta forma:

$$F(x) = -kx \quad e \quad F(x) = -\frac{dU}{dx} \quad \rightarrow \quad U = \frac{1}{2}k \cdot x^2$$



## Sistema massa-mola

Um exemplo básico de um oscilador harmônico é o sistema massa-mola. Consiste de um corpo preso a uma mola, conforme mostra a figura a seguir.



A parte da esquerda da figura mostra a posição de repouso do sistema. Nesta posição há o equilíbrio entre a força elástica e o peso. Uma vez deslocado dessa posição, para cima ou para baixo, a força elástica atuará como força restauradora, tendendo a reestabelecer o equilíbrio.

$$F(x) = -kx \quad \rightarrow \quad m \cdot a = -kx$$

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad \rightarrow \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0$$

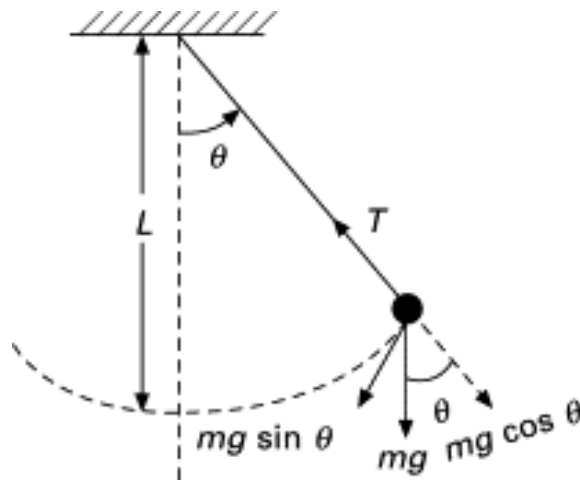
A solução da equação diferencial é dada por

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

onde  $A$  é a amplitude,  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  a frequência angular e  $\varphi$  a fase inicial.

## Pêndulo simples

Outro exemplo básico é pêndulo simples. A figura a seguir mostra um pêndulo de comprimento  $l$ , cuja massa do fio é desprezível em relação à massa do corpo nele pendurado. Quando deslocado da posição de equilíbrio, a força restauradora será  $mg \cdot \text{sen}\theta$ .



Sendo  $mg \cdot \cos\theta = T$ , a força resultante será  $mg \cdot \text{sen}\theta$ . Logo:

$$F_R = -mg \cdot \text{sen}\theta = m \cdot a \rightarrow -g \cdot \text{sen}\theta = a$$

Para pequenos deslocamentos  $\text{sen}\theta \approx \theta$ . Quando  $\theta$  é medido em radiano,  $\theta = s/l$ . Assim:

$$-g \cdot \frac{s}{l} = a \rightarrow \frac{d^2s}{dt^2} = -\frac{g}{l}s \rightarrow \frac{d^2s}{dt^2} + \frac{g}{l}s = 0$$

cujas solução é:

$$S = S_m \cos (wt - \varphi)$$

onde

$$w = \sqrt{\frac{g}{l}} \text{ e } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

## Atividade 1: medindo a frequência de um pêndulo simples

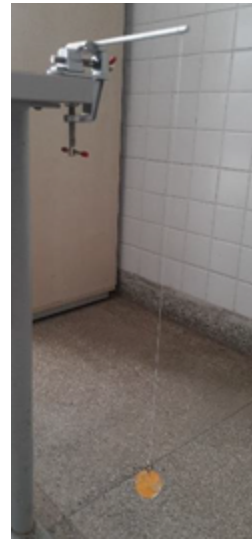
1º) Monte um pêndulo simples, utilizando-se de uma bola e um pedaço de linha cuja massa seja desprezível em relação à massa da bola, conforme mostra a figura ao lado.

2º) Meça seu comprimento útil, ou seja, do ponto de fixação até o centro da esfera. Preencha o quadro a seguir.

3º) Utilizando-se da relação  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$ , calcule a frequência de oscilação do pêndulo. Preencha o quadro a seguir.

4º) De posse de um cronômetro instalado no celular, meça o tempo em que o pêndulo, deslocado levemente de sua

posição de equilíbrio, gasta para executar 10 oscilações. Faça essa medição 5 vezes e calcule o tempo médio. Calcule a frequência média e, a partir dela, calcule a aceleração da gravidade local. Preencha o quadro a seguir.



Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )		Comprimento de pêndulo (m)			Frequência calculada (Hz)	
9,8						
Medições do tempo de oscilação (segundos)						
$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$\bar{t}$	
Frequência média ( $10/\bar{t}$ )			Aceleração da gravidade $g = (2\pi f)^2 \cdot l$			

5º) Compare o valor da aceleração da gravidade encontrado, por meio da atividade experimental acima, com o valor de referência. O que dizer a respeito? A que se deve o desvio entre os valores mencionados? O pêndulo poderia ser utilizado como relógio? Quais as limitações?

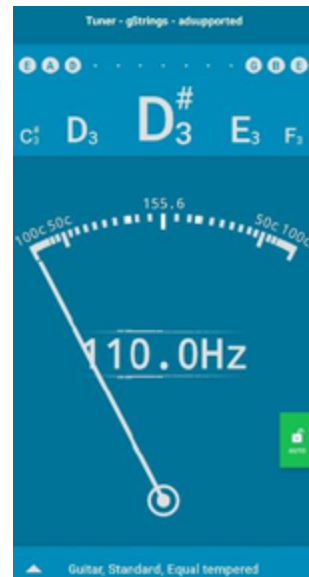
## Atividade 2: medindo a frequência de uma corda de violão

Galileu Galilei teve interesse particular pelo isocronismo do pêndulo. Contudo, o pensamento matemático necessário para enxergá-lo só viria a se estabelecer mais a frente, com as contribuições de Leibniz e Newton, não tendo chegado a uma explicação para tal movimento ao longo da sua vida. Tal interesse, provavelmente, veio do seu envolvimento com a música. Vincenzo Galilei, pai de Galileu era lutenista, ou seja, tocador de Alaúde, tendo estudado com Gioseffo Zarlino, considerado o mais importante teórico da música do século XVI. Muito provavelmente, Galileu, que também era lutenista, interessou-se pelo estudo dos movimentos oscilatórios tanto por este envolvimento com música, quanto pela influência dos estudos do pai sobre o temperamento da escala de 12 semitons, sendo um precursor de Johann Sebastian Bach. Uma corda de violão ao ser tocada, vibra, emitindo um som com uma determinada frequência. Cada elemento de massa da corda funciona semelhantemente a um movimento harmônico em torno da posição de equilíbrio.

1º) Instale num smartphone um ‘app’ afinador de violão, tal como o “gStrings”. A figura ao lado mostra a interface do aplicativo, disponível na internet.

2º) Após a instalação e de posse de um violão, abra o aplicativo, coloque o violão deitado, com o tampo voltado para cima, e coloque o smartphone sobre o tampo.

3º) Na sequência, toque uma corda do violão e monitore no aplicativo sua frequência, observando se há variação no valor desta frequência de vibração, medida pelo aplicativo ao longo do amortecimento.



4º) A que conclusão você chegou após a observação? Como seria a música se as frequências de vibração das fontes sonoras dos instrumentos musicais se alterassem ao longo do amortecimento?

Raymond Murray Schafer, compositor, escritor e educador musical canadense, na introdução do seu livro “A afinação do mundo” (SCHAFER, 2012), estabelece, de forma pioneira, uma maneira sistemática de estudar a paisagem sonora e sua evolução histórica. A partir do estabelecimento de um corpo organizado de conceitos, dentre os quais o de paisagem sonora e o de ecologia acústica, Schafer se lança na análise histórica das paisagens sonoras, bem como dos fatores científicos, sociais e artísticos envolvidos em suas evoluções, em direção ao estabelecimento das bases de uma nova interdisciplina, denominada por ele de “Projeto Acústico”.

A “A afinação do mundo” pode ser considerado uma epistemologia da ecologia acústica, ou seja, uma análise histórica da nossa relação com o som a partir da perspectiva fenomenológica. Partindo das primeiras paisagens sonoras, essencialmente naturais, inicia uma viagem em torno das modificações que se deram nas paisagens sonoras do planeta desde o aparecimento do homem, enquanto ser cultural, até os dias de hoje, onde nos deparamos com um grande e urgente problema: o ruído ambiental. O livro está dividido em quatro partes, distribuídas da seguinte forma:

**Parte I (As primeiras paisagens sonoras):** descreve as primeiras paisagens sonoras, antes do aparecimento do homem, bem como as modificações de tais paisagens pela ação concreta do homem enquanto ser cultural. Avança na caracterização das primeiras paisagens sonoras culturais, antes rurais e, depois, do vilarejo e da cidade.

**Parte 2 (A paisagem sonora pós-industrial):** descreve as mudanças causadas pelas revoluções industrial e elétrica, evidenciando o novo cenário das paisagens industriais, urbanas e do campo, causado pela presença da máquina. Uma gama de novos sons passou a compor o oceano de sons que antes eram mais harmoniosos, menos competitivos. Informações sonoras simultâneas tornaram a relação sinal/ruído desfavorável, tornando as paisagens sonoras das cidades lo-fi (baixa fidelidade) em comparação às paisagens rurais e naturais, as quais são definidas por Schafer como hi-fi (alta fidelidade).

**Interlúdio:** examina a relação entre música e paisagem sonora, tomando a primeira como referente na análise da evolução das paisagens, uma vez que a música forma o melhor registro permanente dos sons do passado e referente na análise das modificações dos hábitos e das percepções auditivas.

**Parte 3 (Análise):** se dedica à análise de sistemas de representação gráfica, assim como fazem engenheiros, arquitetos e geógrafos. De forma semelhante, propõem a construção de um sistema semiótico capaz de representar os sons, sintática e semanticamente, tomando como referência o sistema de notação musical. A base fenomenológica para tal busca se dá na história, na medida em que identifica que a fala é a representação exterior do mundo por meio da fonética. Nesta perspectiva, a música seria uma extensão desta experiência concreta. Se, de um lado, o desenvolvimento do sistema de signos musicais possibilitou a representação no papel de numerosos recursos e expressões musicais, de outro, a ciência e a tecnologia possibilitaram a identificação dos parâmetros básicos do som (intensidade, frequência e tempo). Contudo, tais linguagens já não conseguem dar conta da complexidade da expressão musical e do ambiente acústico. Mesmo que os modernos espectrógrafos possibilitem a representação tridimensional dos objetos sonoros, permitindo uma representação física do espaço acústico, precisamos valorizar a experiência auditiva, evitando a dependência da representação visual do som.

**Parte 4 (Em direção ao projeto acústico):** trata do lançamento de uma nova interdisciplina, denominada de “Projeto Acústico”, cujas bases foram construídas nas três seções anteriores do livro. Tal disciplina se situa a meio caminho entre a ciência, a sociedade e as artes e busca, por meio da educação sonora, a sensibilização da audição e o pensar auditivo, em direção à consciência ecológica sonora. Neste processo educacional, espera a transformação das pessoas de seres ruidosos a policiadores da qualidade sonora dos ambientes. Neste processo, as paisagens sonoras são entendidas como uma grande sinfonia, escrita a inúmeras mãos, das quais somos, ao mesmo tempo, o público, os compositores e os executantes.

## Atividade: analisando os ambientes acústicos de sua casa

Schafer afirma que a nossa relação com os sons dos ambientes em que vivemos deve ser positiva. Ao invés de ignorá-los, precisamos exercitar a audição pensante, atuando conscientemente na escolha dos sons que devemos preservar, multiplicar e de outros que precisam ser eliminados de nossas paisagens sonoras.

1º) Qual ambiente da sua casa é mais ruidoso e qual ambiente é mais silencioso? Instale no seu smartphone um 'app' decibelímetro e meça a intensidade, em decibéis, dos vários ambientes da sua casa. Preencha o quadro a seguir.

Ambiente	Intensidade (dB)	Ambiente	Intensidade (dB)
Calçada		Cozinha	
Jardim		Banheiro	
Terraço		Quarto	
Sala		Quintal	

2º) Qual ambiente é mais ruidoso? Qual ambiente é mais silencioso? Por quais motivos?

3º) Que sons você desejaria retirar da sua casa e que sons você desejaria preservar ou ainda adicionar? Apresente os motivos para tais escolhas.

4º) Há na sua casa sons contínuos? Quais? Há sons passageiros? quais?

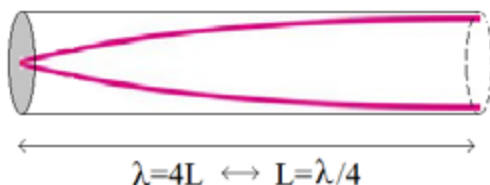
5º) Respondendo à pergunta do próprio Schafer, a paisagem sonora mundial é uma composição sonora indeterminada ou seremos nós seus compositores e executantes, encarregados de dar-lhe forma e beleza?

# AULA 03

## Natureza, propagação do som e a medição da sua velocidade

Há diversas formas de medir a velocidade do som, desde as mais artesanais, com aparatos experimentais simples, até as mais sofisticadas, utilizando sensores, interfaces de hardware e softwares. Aqui, iremos medir a velocidade do som a partir da escuta sensível (OLIVEIRA FILHO, 2022).

Sabemos que num tubo sonoro fechado, ou seja, aquele que possui uma das duas extremidades fechada, estabelecem-se ondas estacionárias ressonantes quando  $L = \lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4$ , sendo  $v = \lambda \cdot f$ , onde “v” é a velocidade do som, “ $\lambda$ ” comprimento de onda e “f” a frequência. A ressonância é detectada pelo reforço considerável da intensidade sonora, que pode ser notado auditivamente, num ambiente silencioso. Medindo L, podemos determinar  $\lambda$  e, por conseguinte, v. No primeiro modo de vibração, a onda estacionária pode ser representada como na figura a seguir.



Podemos calcular a velocidade do som por meio de  $v = \lambda \cdot f$ , determinando experimentalmente o valor de L, sendo  $\lambda = 4 \cdot L$ . O aparato consiste de dois tubos de PVC, um com diâmetro de 75mm e o outro com diâmetro de 40mm, conforme figura a seguir. O tubo de 75mm tem um tampão na extremidade inferior e atua como um recipiente, que é preenchido com água. Na medida em que o tubo de 40mm é inserido ou retirado de dentro do tubo de 75mm, o comprimento da coluna de ar em seu interior se modifica. A superfície da água atua como uma parede, fazendo com que o tubo de 40mm funcione como um tubo sonoro fechado em uma das extremidades.





## Atividade: medindo a velocidade do som no ar

1º) Instale no smartphone um ‘app’ gerador de frequência, tal como o “Frequency Generator”, mostrado na figura a seguir (à esquerda).

2º) Coloque o cano de 75mm na vertical e o encha com água, conforme mostra a figura abaixo (ao centro).



3º) Abra o “Frequency Generator” e regule-o na frequência de 220Hz. Posicione a saída de som do smartphone próxima à extremidade do tubo de 40mm, conforme mostra a figura acima (à direita). Vá subindo ou descendo este tubo até que você encontre a posição de ressonância, percebida auditivamente pelo aumento da amplitude. Neste momento, faça um risco com lápis grafite na lateral do tubo de 40mm, exatamente na posição onde se encontra a superfície da água.

4º) Retire o tubo de 40mm e meça a distância do risco até a extremidade onde estava posicionado o smartphone. Tal quantidade será  $L = \lambda/4$ . A partir deste valor, calcule a velocidade do som no ar.

5º) Compare o valor da velocidade encontrado com o valor de referência. O que dizer a respeito? A que se deve o desvio entre os valores mencionados?

Nos capítulos 1 e 2 de “A afinação do mundo”, Schafer nos leva a refletir sobre como era a paisagem sonora do planeta antes do aparecimento dos seres vivos.

1º) Quais sons você listaria que faziam parte desta paisagem? Há algum som que não existe mais?

2º) “Todos os caminhos do homem levam às águas. Ela é o fundamento da paisagem sonora original, em suas incontáveis transformações.”. Qual significado desta afirmação? Escute a música “Terra, planeta água” de Guilherme Arantes. Qual a relação da sua letra com esta afirmação?

3º) Por ser fluida, a água preenche e por fazer parte do ciclo da vida, vai do mar para a terra e da terra para o mar, interagindo de diversas formas. Quais sons ela produz?

4º) Schafer afirma que o mar é o som fundamental de todas as civilizações marítimas. Qual a definição de “som fundamental”?

5º) Segundo Schafer, cada paisagem sonora natural tem seu próprio som peculiar, e com frequência esses sons são tão originais que constituem marcos sonoros. Qual a diferença entre som fundamental e marco sonoro? Há algum marco sonoro em Recife?

6º) O som das ondas do mar é pleno de frequências, aparentando-se a um ruído branco, assim como o som dos ventos. O que seria o ruído branco?

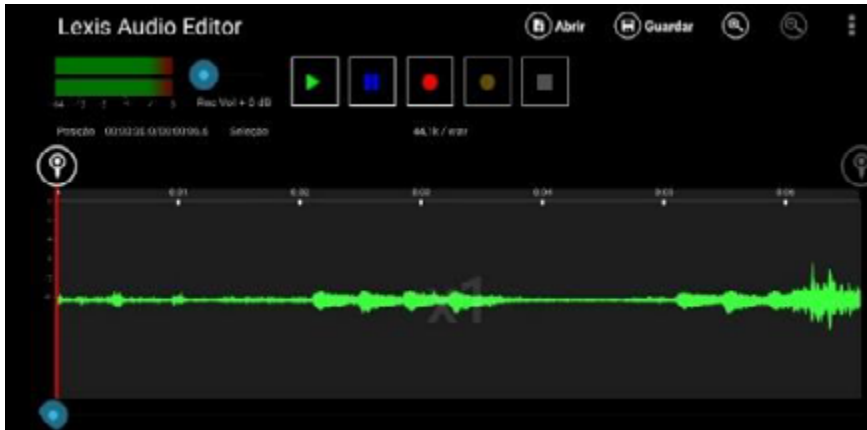
6º) O segundo capítulo do livro, “Os sons da vida”, nos leva a refletir sobre os sons que se deram a partir do aparecimento dos seres vivos. Qual a predominância de sons de seres vivos, excetuando-se os humanos? Quais os mais ruidosos? Quais são seus significados?

7º) Cite alguns sons de seres vivos que você reconhece por estarem presentes nos ambientes em que você vive?

8º) No tempo remoto em que se deu o aparecimento do homem, deuse, como marca fundamental, o ‘duplo milagre’ do aparecimento da fala e da música. Que relação a fala e a música guarda com os sons dos animais? Por que são marcas do aparecimento do homem?

## Atividade: analisando os sons naturais

1º) Instale o “Lexis áudio editor” no smartphone (figura a seguir) e faça a gravação do som das ondas do mar, bem como do som do vento passando entre as folhas das árvores. Faça “print” e coloque nos quadros a seguir. Compare os dois gráficos e comente sobre a percepção desta comparação.



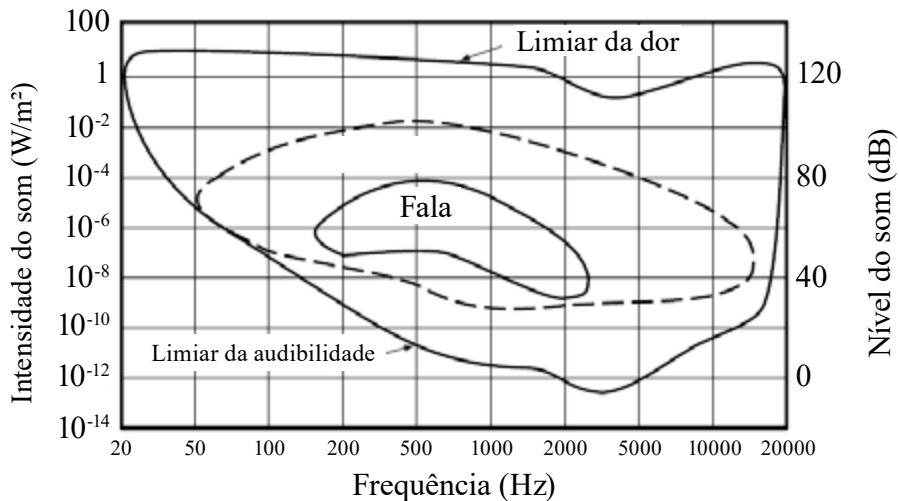
Som do mar
Som do vento entre as folhas das árvores

2º) Faça a gravação dos sons de um pássaro, de uma cigarra. Coloque nos quadros a seguir. Comente sobre suas peculiaridades.

Som de um pássaro
Som de uma cigarra

O capítulo 5 do livro “The Science of Sound” (ROSSING; MOORE; WHEELER, 2014) é dedicado ao estudo da orelha humana. Neste capítulo, os autores afirmam que a gama de intensidade do som (pressão) e a gama de frequência às quais o ouvido responde são notáveis. A razão entre as intensidades do som no limiar de dor e no limiar de audibilidade é da ordem de  $10^{12}$ . Por outro lado, a razão entre as frequências mais altas e mais baixas que se pode ouvir é em torno de  $10^3$ , ou seja, em torno de 10 oitavas (cada oitava representa uma duplicação da frequência).

A figura a seguir (ROSSING; MOORE; WHEELER, 2014) mostra as faixas de frequência (Hz) e intensidade ( $W/m^2$ ) da orelha humana. Circunscrita à região de audibilidade se encontra a região da música e circunscrita à esta, por sua vez, a região da fala. Observe que a sensibilidade varia com a frequência, experimentando o máximo de sensibilidade na faixa entre 2 KHz e 5 KHz.



Outra característica interessante que pode ser observada diz respeito aos espectros da música e da fala. Enquanto o primeiro alcança maior extensão em frequência e em intensidade, o segundo é menos extenso em ambos os parâmetros, apontando para a música como extensão da fala.

## Atividade: analisando as sensações de volume e altura

1º) Qual a faixa de frequência para a qual a orelha é mais sensível? Em qual faixa ela experimenta a menor sensibilidade? Quais as extensões aproximadas em frequência e amplitude da fala e da música?

2º) Se a sensibilidade auditiva dos seres humanos fosse reduzida em 10 dB, que modificações ocorreriam na curva de audibilidade mostrada cima? O que se modificaria no cotidiano das pessoas?

3º) Utilizando-se do “Lexis Audio Editor”, grave sua própria voz. Em seguida, escute-a. Você nota alguma diferença? Comente. Na sequência, grave a voz de uma pessoa conhecida. Em seguida, escute-a. Você nota alguma diferença? Comente.

Dada que a razão entre as intensidades do som no limiar de dor e no limiar de audibilidade é da ordem de  $10^{12}$ , a representação da intensidade numa escala logarítmica é mais adequada. Por isso, frequentemente utiliza-se o “nível de intensidade sonora (N)”, o qual é expresso da seguinte forma.

$$N = 10 \cdot \log I/I_0$$

onde  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  é a intensidade de referência, que tem relação com o menor nível de intensidade que se pode ouvir. A unidade é o Decibel (dB). Nesta escala, o limiar de audibilidade é 0 dB, enquanto o limiar doloroso é 120 dB.

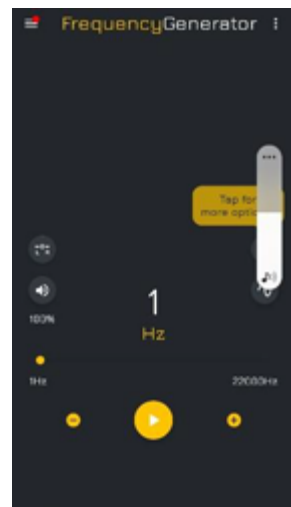
4º) A “zona auditiva” é a região do espaço delimitada por um raio de  $150 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$ , medido a partir da entrada do canal auditivo de uma pessoa. O valor medido, colocando-se um decibelímetro dentro dessa faixa, é que vai determinar, de acordo com as normas técnicas, o risco de perda auditiva por exposição ao ruído. Instale no smartphone um ‘app’ decibelímetro. Faça a medição dos ruídos mais comuns que ocorrem na sua casa. Preencha o quadro a seguir. Na hora de fazer a medição, lembre-se de colocar o smartphone dentro da zona auditiva. Realize todas as medições situando-se a um metro de distância da fonte de ruído.

Equipamento Residencial	Nível de Intensidade Sonora (dB)
Liquidificador	
Ventilador	
Geladeira	
Máquina de lavar roupas	
Smart tv (volume habitual)	

5º) O canal auditivo da orelha humana de um adulto tem comprimento aproximado de 3 cm. A partir deste dado, calcule a frequência ressonante, considerando-o como um tubo cilíndrico com uma das extremidades fechada.

Como podemos observar na curva de audibilidade da orelha humana, a resposta para o estímulo de frequência, denominada altura, não é linear. Tons puros de frequências diferentes são ouvidos com intensidades fisiológicas diferentes, mesmo tendo intensidades físicas iguais.

6º) Abra o ‘app’ “Frequency Generator”, coloque o medidor de frequência em 1Hz e regule o volume do smartphone na metade do seu volume máximo, conforme mostra a figura ao lado. Na sequência, coloque o smartphone a uma distância aproximada de 30 cm das orelhas e vá aumentando, continuamente, o valor da frequência. Observe como a sensação de altura se comporta ao longo da varrição de frequência de 1 Hz até 10 KHz. Comente sobre a percepção que você teve desta experiência.



Nos capítulos 3 e 4 do livro “A afinação do mundo”, ao discutir as mudanças na paisagem sonora natural com o aparecimento dos vilarejos e, depois, das cidades, Schafer introduz os termos “paisagem sonora hi-fi” e “paisagem sonora lo-fi”. Na hi-fi a relação sinal ruído é favorável enquanto que na outra não. Na hi-fi há perspectiva figura-fundo e permite a escuta distante. A cidade abrevia a habilidade para a audição e visão à distância, marcando uma das mais importantes mudanças na história da percepção, diminuindo o “espaço acústico”. Schafer define os três conceitos da seguinte forma:

**Hi-fi:** abreviação de alta fidelidade (high fidelity), isto é, uma razão sinal ruído favorável. O uso mais geral do termo ocorre em eletroacústica. Aplicado aos estudos da paisagem sonora, o ambiente hi-fi é aquele onde os sons podem ser ouvidos claramente, sem estarem amontoados ou mascarados.

**Lo-fi:** abreviação de baixa fidelidade (low fidelity), que é uma razão sinal ruído desfavorável. Aplicado aos estudos da paisagem sonora, o ambiente lo-fi é aquele em que os sinais se amontoam, tendo como resultado o mascaramento ou a falta de clareza.

**Espaço acústico:** o perfil de um som na paisagem. O espaço acústico de qualquer som é a área na qual ele pode ser ouvido antes que caia abaixo do nível sonoro ambiental.

É interessante observar que cada uma dessas primeiras comunidades possuía sons fundamentais produzidos pelos materiais disponíveis em abundância em cada uma delas, como, por exemplo, madeira, bambu, pedra, metal. Nestes cenários, alguns sons passaram a fazer parte das paisagens de muitos vilarejos, como, por exemplo, os sons dos sinos, dos cavalos e das carroças, das trompas, das flautas, das danças, das músicas e dos ritos religiosos. A comunicação oral ainda era predominantemente vocal, como os gritos de rua que, de certa forma, ainda existem nos dias de hoje, como, por exemplo, os dos comerciantes nas apertadas ruas históricas do centro do Recife.

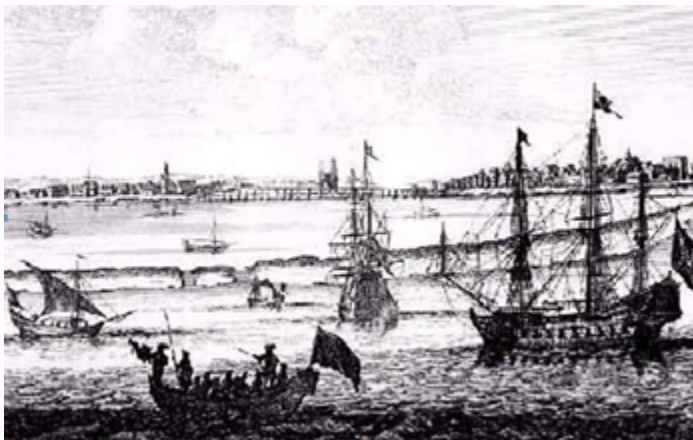
## Atividade: analisando paisagens sonoras lo-fi e hi-fi

1º) As primeiras paisagens sonoras culturais eram rurais, pois os primeiros vilarejos nasceram da necessidade da mudança do estado nômade para o estado sedentário, do extrativismo para a agricultura e para a pecuária. Quais sons faziam parte das paisagens sonoras destas comunidades rurais e dos primeiros vilarejos? Havia ruídos? Liste-os. Quais eram os sons mais intensos?

2º) Na paisagem hi-fi, não há competição de sons, superpopulação de sons, sendo caracterizada pelo baixo nível de ruído ambiental. Com o auxílio de um ‘app’ decibelímetro, meça o nível de intensidade sonora do ruído ambiental de dentro da sua casa. Em seguida, procure o som mais distante que você consegue escutar neste mesmo local. Anote os dados no quadro a seguir. Comente sobre a qualidade da paisagem e sobre a extensão do espaço acústico.

Nível de intensidade sonora do ruído ambiental (dB)	Som mais distante (Estime a distância em metros)

3º) A imagem a seguir mostra uma gravura do Recife do século XVII. Liste alguns sons que faziam parte desta paisagem sonora.



Fonte: <https://www2.recife.pe.gov.br>



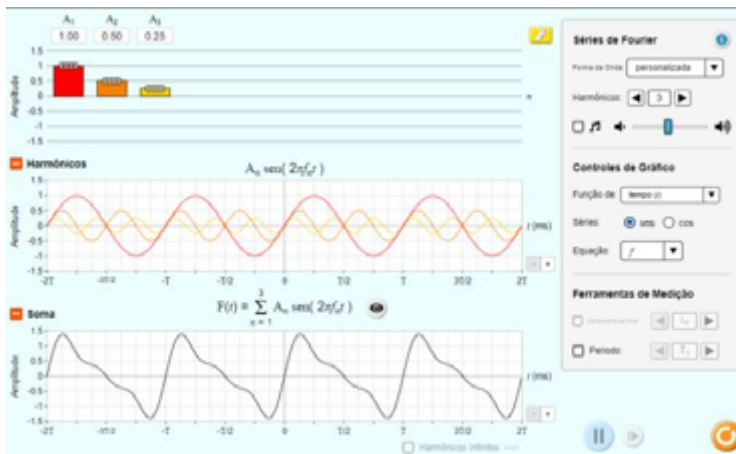
# AULA 07

## A percepção do timbre

O timbre é a sensação auditiva por meio da qual se pode diferenciar dois sons de mesma altura e mesma intensidade. Tal diferenciação é possível, fundamentalmente, pelo espectro de cada um dos sons, muito embora outros fatores influenciem, tais como a forma de onda, o ataque e a duração. O quadro a seguir mostra o grau de influência de cinco dos principais parâmetros sonoros na determinação do volume, da altura, do timbre e da duração.

	Volume	Altura	Timbre	Duração
Pressão	+++	+	+	+
Frequência	+	+++	++	+
Espectro	+	+	+++	+
Duração	+	+	+	+++
Invólucro	+	+	++	+

Como podemos observar, o timbre depende mais do espectro, ou seja, das frequências que compõem o som complexo, e suas respectivas amplitudes, mas depende também do comportamento de cada um dos componentes ao longo da duração do som. A figura a seguir mostra a síntese de três parciais de frequências  $f$ ,  $2f$  e  $3f$ , com amplitudes relativas respectivamente iguais a 1,0, 0,5 e 0,25, processada no ‘app’ “fazendo ondas” do PhET Colorado.



Os conceitos de série harmônica e espectro sonoro estão intimamente ligados. A série harmônica é o conjunto dos harmônicos (componentes de Fourier) que compõem um som complexo emitido por um instrumento. Por outro lado, tais frequências, consideradas com suas respectivas intensidades, compõem o que chamamos de espectro sonoro ou espectro do som. Dois sons de mesma altura e mesmo volume, com a mesma série harmônica e espectro sonoro diferente, soarão diferentemente aos nossos ouvidos.

Além desses dois fatores, outros ainda interferem no timbre de um instrumento musical, tais como as fases dos parciais, o ataque e o decaimento.

Outro fator igualmente importante na determinação do timbre de um instrumento musical diz respeito à eficiência das cavidades e de suas caixas ressonantes, tal como ocorre com o piano, o violino e o violão. Num instrumento como esses, o espectro sonoro das cordas pode ser fortemente alterado, dependendo da forma como a caixa do instrumento responde às diversas faixas de frequência ressonantes. Cada uma das faixas de frequência ressonantes é chamada de formante. As caixas ressonantes possuem vários formantes e, dependendo da eficiência de cada formante, alguns harmônicos superiores podem ter suas amplitudes aumentadas a valores, muitas vezes, maiores do que os alcançados pela amplitude inicial do harmônico fundamental. Muitas vezes, as caixas ressonantes possuem tantos modos normais de vibração, tão próximos uns dos outros, que a sua resposta se apresenta quase contínua para toda a série harmônica produzida pelas cordas.

Podemos então entender que o timbre é a qualidade psicofisiológica do sistema auditivo que nos permite distinguir dois sons complexos de mesma magnitude e com a mesma frequência fundamental, mas que possam diferir em uma ou mais características físicas, tais como a série harmônica, espectro sonoro, ou outras características temporais, como o ataque e o decaimento. A partir desta análise, podemos aquilatar o caráter multidimensional do conceito de timbre. Sua conceituação deve contemplar, obviamente, todos esses detalhes, uma vez que todos influenciam no resultado do som de um instrumento. Qualquer tentativa de conceituação que se limite apenas à série harmônica de um instrumento musical é reducionista.

A compreensão de que um som produzido por um instrumento musical é composto de tons puros, cuja superposição gera o som característico daquele instrumento é mais do que um princípio teórico, é uma ideia fundamental na aprendizagem do conceito de timbre. De fato, qualquer estratégia de ensino deste conceito deve incorporar reflexões acerca do princípio da superposição. A decomposição de um som complexo em seus harmônicos é chamada de análise de Fourier e o conjunto destes harmônicos é chamado de série harmônica do som analisado. Nesta decomposição, cada um dos harmônicos possui uma frequência própria e tem sua representação a partir de funções de seno ou cosseno. Suponhamos que  $f(t)$  seja uma função periódica de período  $T = 1/f$ , representativa de um som complexo que se deseje analisar harmonicamente.

De acordo com o teorema de Fourier, qualquer função periódica pode ser decomposta numa série de funções trigonométricas de seno e cosseno (série de Fourier) da forma:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + b_n \text{sen}\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \right]$$

Cuja expansão será:

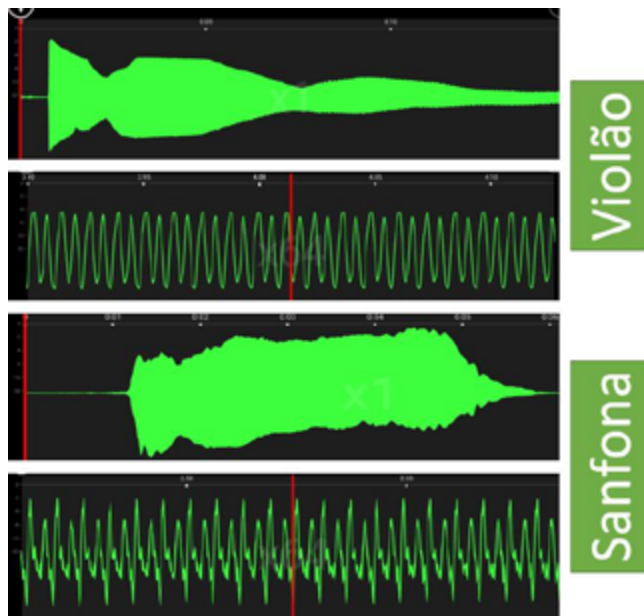
$$f(t) = a_0 + a_1 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + b_1 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + \dots \\ + a_n \cos\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) + b_n \text{sen}\left(\frac{2n\pi}{T}t\right)$$

Estes harmônicos são chamados de parciais do som analisado. Cada um destes fatores representa, matematicamente, um dos harmônicos presentes no som complexo analisado. Os coeficientes de tais parciais, a saber,  $a_0$ ,  $a_n$  e  $b_n$ , têm valores determinados por meio das equações:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt; \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) dt$$

As figuras a seguir mostram os invólucros e as curvas de timbre da nota E, tocada num violão e numa sanfona. A curva timbre pode ser visualizada aplicando a ferramenta “zoom horizontal” em qualquer ponto do corpo do invólucro.



Nosso sistema auditivo tem a capacidade de ouvir um som complexo como um todo, mas também podemos ouvir os componentes separadamente. Se um som complexo tem harmônicos cujas frequências e amplitudes são constantes, a sensação é de um único som, mas basta desligar ou alterar qualquer parâmetro de um dos harmônicos, para se perceber tal mudança. Outra característica impressionante é a seletividade. Podemos distinguir sons complexos de um fundo complexo. Além disso, podemos ainda analisar a relação desse som, em particular, com o todo.

## Atividade: determinando a frequência de um tom complexo

O "Lexis audio editor" permite medir, de forma aproximada, a frequência de um tom complexo. Acima da janela de registro do som gravado, há um contador de tempo, o qual permite observar o tempo de duração de um padrão de repetição, ou seja, o período (T) da onda complexa. A frequência (f) será, então, o inverso do período.

1º) Abra o "Lexis Audio Editor" e grave o som de uma nota tocada em dois instrumentos musicais diferentes.

2º) desloque o cursor até um ponto intermediário do som gravado e, em seguida, aplique o "zoom" horizontal até que um padrão de repetição possa ser visto no seu tamanho máximo.

3º) Faça uma leitura estimada do período do som complexo, tomando por base a marcação do tempo que aparece na barra superior à janela de exibição da gravação. Calcule a frequência, sabendo que  $f = 1/T$ . Preencha o quadro a seguir com os dados e a curva de timbre, retirada do "Lexis Audio Editor".

Instrumento musical 1:		
Curva de timbre		
T(s) =	f(Hz) =	Nota musical:
Instrumento musical 2:		
Curva de timbre		
T(s) =	f(Hz) =	Nota musical:

Uma consequência danosa das revoluções industriais foi o aumento da intensidade e da concentração de sons. Nos capítulos 5, 6 e 7, Schafer analisa a drástica mudança da paisagem sonora mundial advinda do surgimento das máquinas.

A primeira revolução industrial, que se iniciou na metade do século XVIII, trouxe, além do aumento da capacidade produção (em série), o aumento do nível sonoro das diversas paisagens sonoras do mundo moderno. Surgiram as máquinas a vapor, de combustão aberta, e, com elas, novos e intensos ruídos nunca ouvidos, gerados pela produção centralizada na fábrica. Este avanço tecnológico que trouxe benefícios para as sociedades da Europa e, depois, para as de outros continentes, levou a um paradoxo, qual seja o da preocupação com a poluição sonora que veio com o desenvolvimento. O homem se voltou para o ruído causado pela máquina, transformando as paisagens hi-fi, em lo-fi, antes apenas na cidade e, com o passar dos anos, invadindo as comunidades rurais, bem como os espaços silvestres.

Com a revolução elétrica, em meados do século XIX, vieram as máquinas elétricas. No início, o telefone, o fonógrafo e o rádio, invadindo e modificando radicalmente a comunicação e a música. O que antes se dava através do diálogo presencial, passou a ser remoto, em longas distâncias. O que falar da música? Transição da sala de concerto, dos recitais, para a audição pelo rádio e pela gravação de objetos sonoros eletroacústicos? Segundo Schafer, antes do aparecimento dos equipamentos de gravação e reprodução do som, assim como do rádio, o som era um evento espaço-temporal único, que acontecia num determinado lugar e num determinado instante. Hoje, a maior parte da informação musical e da comunicação se dá por meio de gravação ou rádio difusão, ao que Schafer chamou de esquizofonia.

Num mundo cada vez mais ruidoso, as pessoas surpreendentemente, tornaram-se mais do que insensíveis. Como se isso já não fosse preocupante, tornaram-se adeptas do barulho. Quem ainda não teve problemas com um vizinho que o obriga a ‘ouvir’ a música dele ou com as discotecas ambulantes em automóveis dos mais diversos tipos? O som, antes símbolo da divindade, pois, afinal, foi por meio dele que Deus comunicou-se com os homens, conforme

relata o ‘Gênesis’, tornou-se, nos nossos dias, um grande problema. Ao mesmo tempo em que nos ensurdecemos, tornamo-nos auditivamente mal educados. Não é difícil imaginar que, no mundo ocidental, muitas pessoas sequer tenham tido a oportunidade ou o convite de pararem para ouvir as nuances de um ambiente calmo, sereno.

Esse mundo ruidoso que se tornou ‘normal’ aos nossos ouvidos é o retrato da modernidade com seu ritmo acelerado, impensado, que se manifesta na música igualmente acelerada e intensa. Esse mundo do som, turbilhonado e repleto de informações com uma dinâmica altamente mutável, precisa ser problematizado e entendido. A ação enquanto sujeito consciente deve passar pela objetivação da ecologia acústica a que estamos submetidos para, assim, nascerem ações de mudança. Fazemos parte dos ambientes sonoros em que vivemos e somos responsáveis pela sua melhoria.

Não estamos aqui querendo defender o impossível, ou seja, eliminar o ruído da paisagem sonora, mesmo porque ele sempre existiu. Na verdade, precisamos tomar a música como referência. Nela, som, ruído e silêncio coexistem harmonicamente, numa medida que dá prazer. É difícil até separar som e ruído na execução de um instrumento musical. Ao extrair som, extraímos também ruído.

Classificar o que é som e o que é ruído em música não é fácil. O ruído se harmoniza com o som e há espaço para o silêncio. A partir do critério de que ruído é qualquer som indesejado, fica clara a controvérsia que classificações não são fáceis de serem realizadas, pois os critérios para definir os limítrofes entre som e ruído, música e não música não são tão claros. Contudo, qualquer que seja a classificação adotada, o recurso histórico terá importância fundamental. É neste sentido que Schafer, no interlúdio do capítulo sete, traça um paralelo entre música e meio ambiente, valorizando as aproximações entre o desenvolvimento da música e o das sociedades, mostrando como o ruído foi sendo incorporado às paisagens sonoras e, em particular, à música. No caso da música, a ação do compositor a faz bela, na boa medida entre som, ruído e silêncio, na boa medida entre consonância e dissonância, entre tensão e resolução.

### **Atividade: analisando os sons das máquinas**

1º) Os sons das máquinas, no início presentes apenas nas cidades, invadiram o campo e, também, os espaços silvestres. Hoje, eles estão, praticamente, por toda parte. Cite alguns equipamentos que fazem parte da vida no campo e/ou dos espaços silvestres nos dias de hoje.

2º) Grave os sons de duas máquinas utilizando o “Lexis Audio Editor”. Classifique-os em som ou ruído. Observe se há alguma regularidade.

Máquina 1:
Curva registrada no “Lexis Audio Editor”
Regularidades:
Máquina 2:
Curva registrada no “Lexis Audio Editor”
Regularidades:

3º) Apesar de quaisquer percepções negativas que as pessoas das grandes cidades possam ter da experiência de ficarem expostas ao quase silêncio, é preciso uma ação educativa que as alerte para a corresponsabilidade com a qualidade sonora dos ambientes. Utilizando um ‘app’ decibelímetro, meça o nível de intensidade sonora do ambiente mais calmo que você já experimentou.

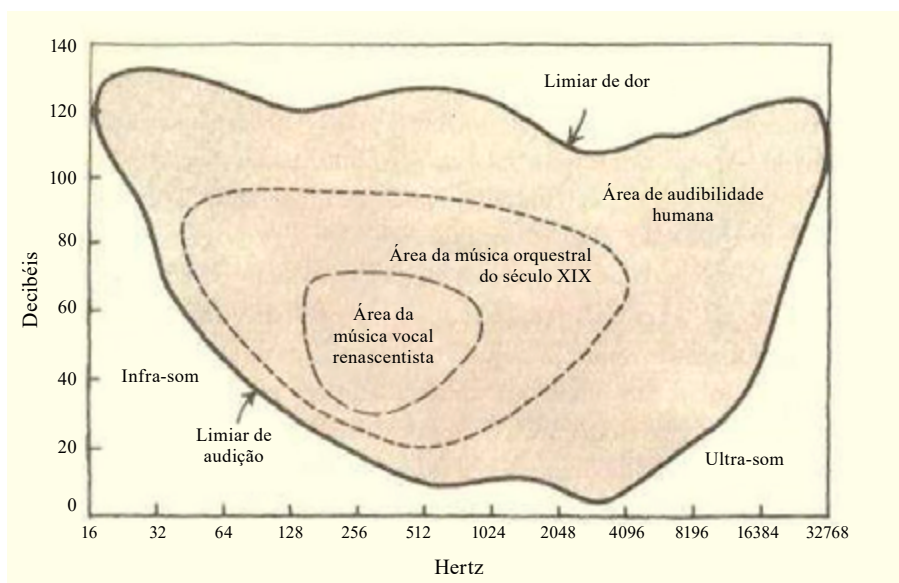
Local	Nível de Intensidade Sonora (dB)



4º) O parque Eólico de São Clemente é um dos maiores do Brasil e está localizado em Caetés, Capoeiras, Pedra e Venturosa, municípios do agreste pernambucano. Muito se elogia a energia eólica por ser uma fonte limpa e renovável. Agora vamos refletir sobre o ruído produzido por uma turbina eólica. Pessoas que moram próximas ao parque reclamam do barulho dos aerogeradores. Segundo elas, é constante, dia e noite, desde 2016, sem uma pausa. Faça uma pesquisa sobre os impactos deste parque no agreste pernambucano. Liste aqui tais impactos e possíveis ações em defesa dos moradores da localidade.

5º) Escute a música, “Money” da banda de rock progressivo “Pink Floyd”. O que existe de incomum no arranjo desta composição? Qual a mensagem que a letra transmite?

6º) No interlúdio do capítulo 7, Schafer nos alerta para a resposta aumentada do baixo na música e nas paisagens sonoras modernas. A figura a seguir (SCHAFFER, 2012) ilustra, por exemplo, o quanto a música orquestral ampliou o espectro de frequência, bem como a dinâmica das intensidades. A que se deve tal ampliação das frequências? A que se deve a ampliação das intensidades, principalmente nas frequências mais graves?



## ***Registro e classificação de paisagens sonoras***

Nos estudos de paisagens sonoras (SCHAFER, 2012), assim como nos estudos da bioacústica (KRAUSE, 2016), os sons são classificados a partir de parâmetros específicos. Contudo, antes de classificá-los, é preciso entender o que é uma escuta pensante. De acordo com Schafer (2012), a escuta pensante, chamada pelo autor de escuta inteligente, destaca a importância de fazer esse exercício de sensibilização da escuta de uma forma consciente e analítica. A escuta pensante é, então, o exercício de destacar sons da paisagem sonora, desvela-los em suas relações com o todo. É também a busca por entendê-los em seus significados próprios, enquanto objetos sonoros.

A atividade de sensibilização da escuta que realizaremos acontecerá em dois espaços distintos. Um deles podemos denominar de espaço com maior ação humana, como uma parada de ônibus ou outros que apresentem muito ruído e sons. O segundo espaço pode ser um local com menor ação humana, como uma área de reserva ambiental ou qualquer lugar que não tenha muito ruído e sons que partam diretamente dos homens ou de instrumentos utilizados por eles.

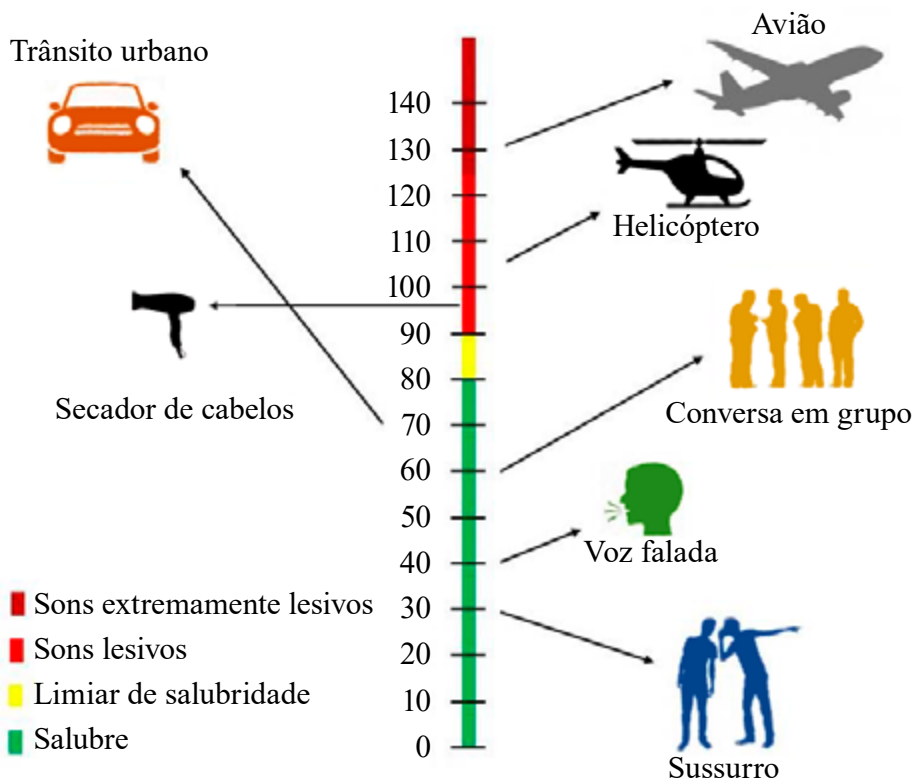
### **Classificação dos sons em geofônicos, biofônicos ou antropônicos**

O músico e ecólogo Bernie Krause (2016) definiu a paisagem sonora em três fontes básicas. A primeira é a geofônica, que são os sons não biológicos que acontecem em qualquer habitat, como o som do vento e das águas, dentre outros. A segunda delas é a biofônica, a qual abarca todos os sons gerados por organismos vivos (exceto o homem) em um dado habitat. A terceira é a antropônica, a qual compreende todos os sons que os seres humanos geram.

Os sons podem ser classificados ainda a partir de outros parâmetros, tais como duração, intensidade, altura e intermitência. Antes de analisar os sons a partir destes parâmetros, é preciso entender o conceito básico de cada um deles. A duração é entendida como a característica dos sons serem longos ou curtos. A intensidade ou volume relaciona-se à qualidade de um som ser forte ou fraco. Está relacionada à anergia que a onda sonora transporta. A altura é uma qualidade do som que é determinada pela frequência de vibração do

corpo que o emite. Quanto menor for a frequência, mais grave será o som produzido. Quanto maior for a frequência, mais agudo será o som. Por último, a intermitência diz respeito à continuidade do som, o qual pode ser constante ou com intervalos regulares ou irregulares de intensidade.

Desta forma, um som pode ser insalubre por mais de um motivo. O mais comum é, de fato, a intensidade. O infográfico a seguir ilustra intensidades sonoras que podem oferecer risco à saúde.



Como podemos observar, a partir de 80dB, a exposição ao som ou ruído começa a ficar perigosa. A irritação auditiva leva em consideração a duração do som, bem como o local. Em lugares abertos, por exemplo, há menor risco do que em lugares onde o som pode ficar enclausurado. Na atividade que se segue, iremos registrar e analisar paisagens sonoras.

## Atividade: registrando e analisando paisagens sonoras

Na correria da sociedade contemporânea, dificilmente alguém tem o hábito de refletir sobre o que escuta todos os dias, no percurso do trabalho, quando leva as crianças para escola, ao fazer as compras no supermercado, passeio, e até mesmo estando dentro de casa. Geralmente as pessoas não tem o costume de refletir sobre o que escutam. Para isso, é preciso que esse sujeito venha a educar ou reeducar a sua escuta. Não é de qualquer forma que o educando sensibilizará a sua escuta, mas com a mediação do educador.

Primeiramente, o educando terá que identificar os sons em espaços com predominância mais natural e também em espaços mais urbanizados, anotando em uma folha em branco características do que eles estão escutando segundo a percepção de cada um.

Feito isso, todos em sala de aula irão discutir com o professor sobre os sons escutados, , onde cada um se encaixa, para, em seguida, todos poderem classificar os tipos de sons em um quadro, cujo o modelo se encontra a seguir.

1º) Vá para um lugar onde há predominância de sons antropofônicos. Anote no quadro a seguir todos os sons que você percebeu. Classifique cada um deles segundo os parâmetros do quadro.

Local escolhido:			
Sons	Geofônico	Biofônico	Antropofônico

2º) Vá para um lugar onde há predominância de sons geofônicos e biofônicos. Anote no quadro a seguir todos os sons que você percebeu. Classifique cada um deles segundo os parâmetros do quadro.

Local escolhido:			
Sons	Geofônico	Biofônico	Antrofônico

3º) Analisando os dois quadros, qual a predominância de sons em cada um deles (geofônicos, biofônicos ou antrofônicos)?

4º) Qual o som mais intenso e o mais tênue em cada uma das duas paisagens sonoras analisadas?

5º) Qual o som mais agudo e o mais grave em cada uma das duas paisagens sonoras analisadas?

6º) Qual o som mais curto e o mais longo em cada uma das duas paisagens sonoras analisadas?

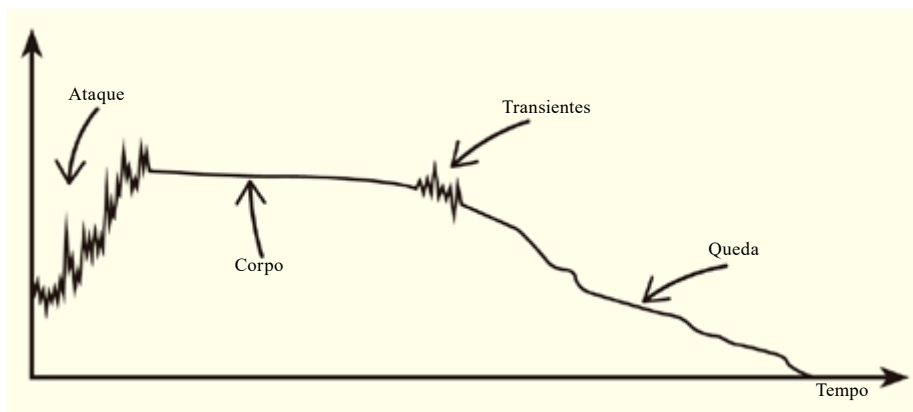
7º) Há algum som constante? Qual?

8º) Há algum som intermitente? Qual?

# AULA 10

## Notação e classificação dos sons

Nos capítulos 8 e 9, Schafer defende que o som possui uma dinâmica. Sua representação gráfica auxilia, de alguma forma, na visualização de tais características, muito embora não se possa perder de vista que a sensibilização da audição é o objetivo fim, por meio da qual tais características podem ser percebidas auditivamente. Desta forma, qualquer som pode ser analisado por meio da representação gráfica. A figura a seguir (SCHAFER, 2012) mostra o gráfico intensidade x tempo do invólucro de um som gravado, contendo seus principais elementos, quais sejam, ataque, corpo, possíveis transientes e, por fim, decaimento.



Um som, tomado separadamente, constitui o que Schafer denomina de objeto sonoro, o que difere de qualquer representação que pode ser tomada desse som, tal como os gráficos utilizados na análise física. Tal objeto sonoro tem ligação direta com o evento sonoro. Segundo Schafer (2012, p. 366),

“Objeto sonoro é, então, definido pelo ouvido humano como a menor partícula independente de uma PAISAGEM SONORA e é analisável pelas características de seu envoltório. Embora possa ser referencial (isto é, um sino, um tambor etc.), o objeto sonoro deve ser considerado, basicamente, como uma formação sonora fenomenológica, independentemente de suas qualidades de referência como evento sonoro.”.

Ainda segundo ele (2001, p. 364),

“o evento sonoro, como o objeto sonoro, é definido pelo ouvido humano como a menor partícula independente da paisagem sonora. Difere do objeto sonoro na medida em que o último é um objeto acústico abstrato para estudo, enquanto que o evento sonoro é um objeto acústico para estudo simbólico, semântico ou estrutural e é aqui um ponto de referência não abstrato relacionado com um todo de maior magnitude do que ele próprio.”.

O objeto sonoro pode ser analisado por meio da representação gráfica que pode ser, por exemplo, um gráfico da amplitude do som em função do tempo, mas também ouvido e sentido dentro da paisagem sonora, possuindo, assim, valor estrutural, cultural. O objeto sonoro é uma partícula da paisagem sonora que pode ser analisada por meio da representação gráfica do som emitido por um corpo físico. Apesar de toda riqueza de informações científicas que pode ser levantada a partir da análise do invólucro um objeto sonoro, jamais se poderá resgatar sua importância para uma determinada cultura e, portanto, seu valor histórico e antropológico. A percepção do som dentro da paisagem sonora permite a identificação dos múltiplos objetos sonoros que podem estar presentes num evento sonoro. O estudo do evento sonoro permite o caminho de volta à origem, a análise da relação primeira do homem com o ambiente sonoro, que é a essência dos estudos de paisagens sonoras, ao que Schafer chama de ecologia acústica.

Na relação figura-fundo, o objeto é um percebido que se destaca na medida em que o percebemos como unidade, mediada pela linguagem e, portanto, semiótica. Por sua vez, o evento é a relação sintática com o todo, que é a paisagem sonora. Em síntese, o objeto é a figura, a paisagem o fundo e o evento a relação entre a figura e o fundo. Os estudos das paisagens sonoras permitem o reaproximar do homem histórico, cultural. Não perde de vista a identificação do homem com sua comunidade, com seu lugar.

## **Atividade: analisando objetos sonoros**

O uso exacerbado dos recursos gráficos leva à alienação da capacidade de avaliação auditiva, fazendo com que as pessoas não consigam perceber a mudança dos parâmetros físicos de um som por meio da audição.

O desenvolvimento de capacidades auditivas possibilita a riqueza interpretativa que pode ser alcançada pelo treino da audição. Ao invés de ver nuances presentes num som por meio de recursos visuais, o estudante pode desenvolver tais capacidades que levariam à identificação e diferenciação de sons pela audição.

Nesta atividade iremos experimentar exercícios de percepção e classificação de sons, como meio de sensibilização para as paisagens sonoras que nos rodeiam.

Segundo Schafer, os objetos sonoros podem ser classificados tanto a partir de parâmetros físicos, quanto por meio de parâmetros estéticos. Nesta atividade iremos analisar um objeto sonoro das duas formas.

1º) Faça a gravação de um objeto sonoro utilizando o “Lexis Audio Editor”. Coloque-o no quadro a seguir.

2º) Aplique o zoom em algum ponto do corpo e observe se há padrão de repetição. Coloque-o no quadro a seguir.

<b>Objeto sonoro (ataque, corpo e decaimento)</b>
<b>Zoom no corpo do invólucro (Curva de timbre)</b>



3º) a partir da análise física e referencial, construa o cenário a seguir.

Classificação:	<input type="checkbox"/> som <input type="checkbox"/> ruído
Distância estimada (m):	
Intensidade estimada (dB):	
Ataque:	<input type="checkbox"/> sem ataque <input type="checkbox"/> curto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> longo <input type="checkbox"/> presença de transientes
Corpo:	<input type="checkbox"/> sem corpo <input type="checkbox"/> curto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> longo <input type="checkbox"/> presença de transientes
Decaimento:	<input type="checkbox"/> sem decaimento <input type="checkbox"/> curto <input type="checkbox"/> médio <input type="checkbox"/> longo <input type="checkbox"/> presença de transientes
Origem:	<input type="checkbox"/> geofônico <input type="checkbox"/> biofônico <input type="checkbox"/> antropônico
Som ouvido sobre o som ambiental geral:	<input type="checkbox"/> distintamente <input type="checkbox"/> moderadamente distinto <input type="checkbox"/> indistintamente
Ocorrência:	<input type="checkbox"/> isolada <input type="checkbox"/> repetida <input type="checkbox"/> parte de um contexto maior <input type="checkbox"/> mensagem
Fatores ambientais:	<input type="checkbox"/> sem reverberação <input type="checkbox"/> pouca reverberação <input type="checkbox"/> muita reverberação <input type="checkbox"/> eco <input type="checkbox"/> vibração <input type="checkbox"/> deslocamento

A porta de entrada para compreender as coisas do mundo são os sentidos: ver, ouvir, sentir, cheirar, saborear. O primeiro dos sentidos é a visão. A propaganda, a TV e a internet, todas centradas na imagem, endossam isso. A ciência da física também. O século XX é conhecido como século das luzes. A física moderna é a física das luzes, ou, melhor dizendo, do espectro eletromagnético. Dada a projeção da visão, o que resta para os outros sentidos? Afinal, também são meios para a percepção do mundo. E, especificamente, o que sobra para a audição? A física do som possui algum desenvolvimento, não tanto quanto a física das luzes, talvez por não possuir tantas aplicações práticas quanto a luz, talvez por possuir uma relação com o bem estar social em detrimento de uma relação com a tecnologia, talvez por acaso do destino, calhou de ser assim, talvez por obra da ação humana. É por essas incertezas que acreditamos ser importante discutir a forma como construímos uma compreensão do som. Anterior e mais universal que as equações que descrevem o movimento de uma onda se propagando no ar, o som, percebido pelo ouvido, se faz presente e se põe a produzir efeitos.

Compreender é conscientizar-se, é tomar consciência de algo. Segundo a epistemologia de Edmund Husserl, a consciência é sempre de alguma coisa. Para Freire, ter consciência de algo pressupõe o eu consciente e, ao mesmo tempo, a negação desse eu, as coisas.

“Na verdade, não há eu que se constitua sem um não-eu. Por sua vez, o não-eu constituinte do eu se constitui na constituição do eu constituído. Desta forma, o mundo constituinte da consciência se torna mundo da consciência, um percebido objetivo seu, ao qual se intenciona. Daí, a afirmação de Sartre, anteriormente citada: “consciência e mundo se dão ao mesmo tempo.” (FREIRE, 2014, p. 99).

Dessa forma, se a consciência é sempre consciência de algo, tomando-nos como um lado dessa equação, o outro é o som. Buscamos compreender, assim, a consciência que se tem do som.

Na medida em que destacamos, a compreensão/consciência do que se constitui como percebido da audição, e tomamos o caminho da consciência que se propõe fenomenológica, podemos suscitar algumas questões:

- i. Como se dá a percepção do mundo sonoro?
- ii. Quais elementos se mostram caracterizadores dessa consciência sonora?
- iii. De que forma se perceber nesse mundo ruidoso se mostra elemento de criticidade?

O músico nascido na “era de ouro” do rádio e fortemente influenciado por essa época, Pierre Schaeffer, valeu-se das discussões postas pela fenomenologia e estruturou algumas respostas para as questões que levantamos. Surgem a partir daí alguns conceitos que discutiremos a seguir.

### **Música concreta, evento sonoro, objeto sonoro e paisagem sonora**

Podemos chegar às discussões sobre as formas de ouvir postas por Pierre Schaeffer por dois caminhos, a saber, a partir da “música concreta” e a partir do “mundo ruidoso”.

No primeiro caminho, é preciso entender o processo de composição da música concreta em oposição à música tonal, dodecafônica, chegando ao objeto sonoro e, daí, às formas de ouvir. No segundo caminho, iniciamos a caminhada pelas paisagens sonoras, desembocando num mundo ruidoso e aí, tornando o ruído música, justificando a produção musical a partir do conceito de objeto sonoro em contraposição ao tom e finalmente chegamos às quatro funções da escuta. Vamos tomar o primeiro caminho sem nos furtar de discutir, ainda que brevemente, o mundo ruidoso.

Certa vez, em entrevista a um repórter (R), o musicista Herculando Pascoal (HP) foi questionado sobre a presença da música em sua vida e o músico respondeu: - a música está em tudo!

R: –Você utiliza instrumentos não usuais para fazer música, como brinquedos infantis, garrafas e até mesmo a água. Para você, tudo é música?

HP: –Tudo. Até os 14 anos o meu público e os meus professores foram os animais: os pássaros, os cavalos, as vacas, os sapos. Eu tocava com eles e para eles e tinha uma receptividade maravilhosa. Isso é algo que existe na minha música, essa essência eu não perdi, ela continua comigo em cada coisa que eu faço. Na música sinfônica, no grupo, em qualquer formação.

A música concreta consiste em levar a máxima “a música está em tudo” ao extremo. Para o musicista concreto, a música está no café com pão do trem de ferro de Manoel Bandeira. O poema em si é musicado primeiro pelo mais conhecido compositor clássico brasileiro, Heitor Villa Lobos, e, posteriormente, por Tom Jobim. As repetições das palavras que lembram o barulho do trem, a combinação das rimas, a estrutura do texto, tudo isso tornam o poema sonoramente musical. Contudo, tanto a música de Villa Lobos, quanto a de Tom Jobim, fenômenos da música brasileira, ainda se pautam no tonalismo.

Café com pão  
Café com pão  
Café com pão

Virge Maria que foi isto maquinista?

Agora sim  
Café com pão  
Agora sim  
Café com pão

Voa, fumaça  
Corre, cerca  
Ai seu foguista  
Bota fogo  
Na fornalha  
Que eu preciso  
Muita força  
Muita força  
Muita força

Oô..  
Foge, bicho  
Foge, povo  
Passa ponte  
Passa poste  
Passa pasto  
Passa boi  
Passa boiada  
Passa galho  
De ingazeira  
Debruçada  
No riacho  
Que vontade  
De cantar!

Oô...  
Quando me prendero  
No canaviá  
Cada pé de cana  
Era um oficiá  
Ôo...  
Menina bonita  
Do vestido verde  
Me dá tua boca  
Pra matá minha sede  
Ôo...  
Vou mimbora vou mimbora  
Não gosto daqui  
Nasci no sertão  
Sou de Ouricuri

Ôo...  
Vou depressa  
Vou correndo

Vou na toda  
Que só levo  
Pouca gente  
Pouca gente  
Pouca gente...

(Manuel Bandeira – Estrela da manhã, 1936)

Tomando o poema como exemplo, o musicista concreto interessa-se por toda unidade sonora produzida na viagem do Trem de Ferro de Manuel Bandeira. O tilintar das rodas de ferro no trilho do trem, o chiado da fumaça que sai pela chaminé, o zumbido do vento na janela, o chiado da pá do carvoeiro, o trincar do carvão na queima da fornalha, os galhos da ingazeira batendo na janela do trem, etc. Qualquer “barulho” pode se tornar um evento sonoro a ser tratado para composição musical. Essa é a principal distinção entre a música convencional e a música concreta. Na música convencional, a composição, em linhas gerais, é resultado da harmonia, ritmo e melodia, em suma, da organização intencional da menor unidade sonora, que nesse caso é a nota musical. A nota possui duração e altura definidas e está situada numa escala cromática na qual o intervalo entre elas é uma função da frequência que obedece ao intervalo matemático de uma progressão geométrica cuja razão é igual a  $^{12}\sqrt{2}$ , como veremos detalhadamente na aula 15.

Do mesmo modo que a música convencional estabelece a nota como unidade fundamental para sua construção e isso fornece ao compositor dezenas de notas para sua construção musical, a música concreta chama de unidade fundamental o objeto sonoro. Dessa forma, Schaeffer amplia radicalmente a quantidade de “notas musicais”, possibilitando aos compositores tornarem qualquer som um objeto sonoro. As possibilidades sonoras de compor se tornam infinitas! Os sons produzidos na viagem do Trem de ferro de Manuel Bandeira são exemplos de fontes de objetos sonoros. No entanto, tornar os sons composições musicais só é possível devido à tecnologia capaz de gravar o som que o compositor intenciona, tratá-lo e torná-lo objeto musical.

A ideia de objeto sonoro do Schaeffer encontra na fenomenologia seu fundamento teórico e, dessa forma, o objeto sonoro é o percebido que se destaca em meio ao mar de sons em que estamos mergulhados. A esse mar, Schafer chamará de paisagem sonora e o percebido que se destaca Freire chamará de conscientização. Deste diálogo entre Schafer, Schaeffer e Freire, construímos um entendimento do objeto sonoro enquanto um percebido-destacado subjetivo, intencional de quem escuta.

## **Paisagem sonora, objeto sonoro e evento sonoro**

“Soundscape” é um termo em inglês, traduzido para o português como paisagem sonora. Essa foi a fórmula que o Músico Raymond Murray Schafer encontrou para sintetizar o que ele chama de análise sonora dos ambientes por onde circulam os seres vivos.

“A paisagem sonora é qualquer campo de estudo acústico. Podemos nos referir a uma composição musical, a um programa de rádio ou mesmo a um ambiente acústico como paisagens sonoras” (SCHAFER, 2012, p. 23).

Schafer nos convida a pensar sobre os sons. Para ele, o local onde nos encontramos, independentemente de onde estivermos, é local de análise sonora. O intuito é o de nos posicionarmos criticamente frente à poluição sonora que afeta a todos. Schafer argumenta que esse estado social ruidoso é consequência da evolução tecnológica, bem como da reorganização da sociedade ao passar do modo vida rural para o urbano. Acrescentamos que além do avanço técnico, a popularização da tecnologia resulta do movimento de globalização, de diluição das fronteiras que faz o dinheiro e a tecnologia que transporta esse dinheiro chegarem aos locais mais longínquos do mundo. Tudo isso contribui decisivamente para esse estado auditivo ruidoso.

Paisagem sonora é um termo paradoxal. Schaefer deseja chamar atenção para escuta, porém inicia sua conceituação analítica com o termo paisagem. Ora, não é de se estranhar que ao ouvir tal termo o interlocutor de um diálogo o associe a um quadro, uma fotografia, um horizonte, etc., e é justo que assim seja, pois paisagem refere-se a algo que se valha não da audição para ser descrito, mas da visão. O termo paisagem é seguido de um elemento caracterizador: sonora, ou seja, Schaefer está se referindo a um quadro sonoro, uma fotografia sonora, um horizonte sonoro, etc. Estamos assim, diante de um ver que não acontece com os olhos. Ver, nesse contexto, é ver com a audição. Nesse sentido, o ver se transmuta em perceber, em visualizar a partir do ouvir. Nesse contexto percebe-se uma relação linguística entre o ver e o ouvir muito difícil de dissociar. Ver e ouvir

estão imbricados de modo que ao referir-se ao termo “perceber”, o percebido estará fatalmente associado ao ver ou ao ouvir.

Ao mesmo tempo em que Schafer critica a prevalência da visão, se inspira nessa crítica para incentivar um movimento estético que se opõe ao século das luzes e coloca a audição em evidência. O movimento estético fomentado por Schafer é por ele nomeado de “Projeto acústico”. O estudo da paisagem sonora é parte fundamental na estruturação desse projeto. A paisagem sonora é repleta de eventos sonoros. Cada um deles pode ser objeto de análise de um compositor, a fim de retirar dos eventos sonoros, objetos sonoros. Os objetos sonoros resultam de uma escuta exaustiva por parte do compositor, a fim de retirar dele um novo sentido para a partícula sonora obtida.

Recordo-me de haver encontrado um jovem compositor australiano, que me disse haver desistido de escrever música depois que se enfeitiçou com as belezas do canto do grilo. Mas quando lhe perguntei como, quando e por que os grilos cantavam, não soube responder; apenas gostava de gravá-los e apresentá-los para grandes públicos. Eu lhe disse: “um compositor deve ao grilo o conhecimento dessas coisas. A arte é conhecer tudo acerca do material com o qual se trabalha. É então que o compositor torna-se biólogo, fisiólogo e – ele próprio – um grilo” (SCHAFER, 2012, p. 288).

Schafer descreve um mergulho no som do grilo de modo que o compositor imerso nesse som seja “ele próprio – um grilo”. É dessa imersão, da repetição contínua de um determinado som que o compositor consegue extrair outro som, compreende o som de modo diferente, encontra algo novo. Esse é o objeto sonoro.

### **As quatro formas de ouvir**

Para Schaeffer, há quatro maneiras de perceber o som: ouvir, escutar, entender e compreender.

**Ouvir** refere-se ao processo neurofisiológico de escuta. Todos os seres vivos nascem com a capacidade de ouvir. Ouvimos quando



estamos distraídos, quando não prestamos atenção ao som em nosso entorno. Apesar de desatento, o órgão auditivo continua funcionando. Não existem pálpebras auditivas. Ouvimos o tempo todo. No momento em que nossa atenção se volta para algum som, ampliamos a função do ouvir e adicionamos a função do escutar.

**Escutar** é, pois, dar atenção a um som que se destaca enquanto ouvimos. A condição de escutar não é exclusiva do humano. Um cão que, preguiçosamente, deitado no chão repousa sua cabeça sobre suas patas, ao escutar um barulho que se destaca em meio ao constante ruído de fundo, levanta imediatamente sua cabeça voltando-se para o ruído. Escutar é dar atenção. É a resposta instintiva a um som.

**Entender** é ter a intenção de compreender o significado de um som, sua fonte. Um som que se destaca desperta a resposta instintiva (escutar), mas, logo em seguida, voltamo-nos a ele, agora com a audição cultural, dando-lhe um sentido. Quando estamos dormindo, a função ouvir continua funcionando, ouvindo o constante ruído de fundo. De repente, escutamos um barulho na janela do quarto, ainda sonolento, despertamos. É a resposta instintiva (escutar). Logo em seguida, a função entender (exclusiva da espécie humana) entra em cena e interpreta a escuta: é um gato que arranha a janela! Tudo bem, volto a dormir.

Algum tempo depois escutamos o rangir do ferrolho da janela abrindo! Um pulo da cama: resposta instintiva. Logo em seguida, entra a função entender: quem força a janela? A função entender dá sentido ao som: o gato que ruidosamente agride a janela é inofensivo e o corpo reage ao que ouve virando de lado e voltando a ouvir, sem destacar. O rangir do ferrolho, por outro lado, inquieta, ativa um estado de alerta, faz levantar o dorminhoco, levanta questionamentos: o que está acontecendo? Quem está lá? Por que força a janela? Entender é dar sentido ao som, consistindo num processo semiótico. É atribuir ao som uma linguagem e assim um signo e um signo acompanhado de um significado.

**Compreender** é, igualmente à função entender, um processo semiótico, só que mediado precisamente pela linguagem musical. Uma pessoa que conhece a linguagem musical, escuta as paisagens sonoras de uma forma diferente, valorizando aspectos que a aproximam da experiência musical.

## Atividade: identificando as funções da escuta de Pierre Schaeffer

1º) A seguir apresentamos dois trechos do romance “Homo Faber” de Max Frisch, escritor suíço, publicado em 1957. Pierre Schaeffer se utilizou destes trechos na apresentação de suas ideias sobre as funções da escuta no seu livro intitulado “Traité des objets musicaux” (1966). Identifique as quatro funções da escuta nesses trechos, justificando suas escolhas.

“A cada vez pela manhã um ruído estranho me acordava, meio-industrial, meio musical, rumor que eu não poderia explicar, não era forte, mas frenético como de grilos, metálico, monótono, devia ser um mecanismo, mas eu não descobria qual, e depois, quando íamos tomar nosso café da manhã na vila, ele tinha cessado, não se via nada.” “... Fizemos nossas malas no domingo... E o estranho ruído que me havia despertado toda manhã revelou-se musical, barulho de uma antiga marimba, martelar sem timbre, música assustadora, totalmente epilética. Tratava-se de alguma festa, com relação à lua cheia. Haviam treinado toda manhã, antes dos trabalhos de campo, para acompanhar a dança, cinco índios que, com pequenos martelos, batiam furiosamente sobre seu instrumento, um tipo de xilofone longo como uma mesa.”.

2º) No site da Simon Fraser University, encontramos o “The World Soundscape Project - WSP” (<https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/WSP/index.html>), criado por Schafer, que era professor desta universidade. Neste site, há vários excertos de composições de paisagens sonoras (<https://www.sfu.ca/~truax/cd5a.html>). Escute um deles atentamente, identificando objetos sonoros que se tornaram musicais pela arte do compositor, bem como objetos musicais.

Objetos Sonoros que se tornaram musicais	Objetos Musicais

Nos capítulos 10 e 11, Schafer trata da percepção e morfologia sonora. Neste cenário, a proposta de atividades lúdicas e, ao mesmo tempo, desafiadoras na construção de graus de percepção da ecologia sonora pode ser interessante estratégia no desenvolvimento de competência sonológica, possibilitando autonomia no desvelar os graus de percepção da realidade problematizada.

Tal competência sonológica aponta para a audição e análise de paisagens sonoras naturais, buscando identificar nestas paisagens os sons fundamentais, aqueles ouvidos continuamente por uma determinada sociedade ou com uma constância suficiente para formar um fundo contra o qual os outros sons são percebidos. Esta relação figura-fundo torna-se cada vez mais profunda, quanto mais lançamos no exercício da escuta pensante, extraindo objetos sonoros e os analisando semântica e sintaticamente, valorizando a percepção do som dentro da paisagem sonora, dos múltiplos objetos sonoros que podem estar presentes num evento sonoro. O estudo do evento sonoro permite o caminho de volta à origem, à análise da relação primeira do homem com o ambiente sonoro, que é a essência dos estudos de paisagens sonoras, ao que Schafer chama de ecologia acústica. Os estudos das paisagens sonoras permitem o reaproximar do homem cultural. Este é, portanto, o sentido da percepção presente no pensamento de Schafer. Da intenção de escuta revelam-se os objetos sonoros os quais são percebidos-destacados do indivíduo.

Uma escuta pensante, atenta para os sons que estão à nossa, pode situar-nos no tempo e espaço, permitindo a percepção de informações importantes a respeito paisagem sonora, tais como sua dinâmica, seus problemas acústicos, bem como a influência do mundo moderno e tecnológico sobre ela. Formar indivíduo capazes de pensar e agir, a partir desta percepção, em busca da melhoria das paisagens sonoras de sua comunidade encerra o ideal de uma educação sonora.

Na atividade experimental que se segue convidamos à escuta pensante, bem como à análise de objetos sonoros, valorizando a relação figura-fundo.

## **Atividade: percepção auditiva e morfologia do som**

1º) Procure um lugar calmo, desligue possíveis fontes sonoras, tais como eletrodomésticos, máquinas e motores. Se houver pessoas ao seu redor, peça para fazerem silêncio por alguns instantes. Com o uso do software livre “Lexis Audio Editor”, faça a gravação da paisagem sonora e, na sequência, reproduza a gravação. Você ouvirá o ruído de fundo da paisagem sonora. É possível notar a presença desse ruído de fundo, diretamente da paisagem? Porquê?

2º) Com o uso do software livre “Lexis Audio Editor”, tente realizar a gravação de um som qualquer com fidelidade. Coloque o objeto extraído do software no quadro a seguir. O que dizer a respeito da qualidade da relação figura-fundo?

Som registrado:

3º) Com o uso do mesmo software, faça a gravação e posterior registro historiográfico de um som que esteja desaparecendo da paisagem sonora, refletindo sobre o porquê de tal extinção.

Registro historiográfico:

4º) Com o uso do mesmo software, realize a gravação de cinco sons que sejam contrastantes sob algum critério previamente escolhido. Coloque os objetos extraídos do software no quadro a seguir. Faça uma descrição da relação entre a discrepância e o critério escolhido.

Critério de contraste:
Som 1:
Som 2:
Som 3:
Som 4:
Som 5:

5º) Com o uso do mesmo software, faça o registro dos diferentes objetos sonoros que podem ser produzidos com uma mesma folha de papel. Coloque os objetos extraídos do software no quadro a seguir, descrevendo a forma como cada objeto sonoro foi produzido.

Forma como o objeto 1 foi produzido:
Forma como o objeto 2 foi produzido:
Forma como o objeto 3 foi produzido:
Forma como o objeto 4 foi produzido:

6º) Analisando os objetos acima registrados segundo o ataque, o corpo, o decaimento e os transientes, em que eles diferem?

7º) Ouça a música de Lulu Santos “Certas Coisas”. Em que medida a letra desta canção se alinha com os estudos morfológicos de Schafer.

8º) Que sons que faziam parte da paisagem sonora recifense foram substituídos por outros?

A música possui uma linguagem própria, com semântica e sintaxe. A semântica diz respeito aos significados dos signos, enquanto que a sintaxe diz respeito à relação entre eles. Assim como nas paisagens sonoras, cada objeto musical tem significado enquanto unidade, mas também estabelece relação com o todo. A música é uma paisagem sonora ideal, onde som, ruído e silêncio coexistem de forma prazerosa, numa medida em que não concorrem, mas colaboram para a beleza do todo. seus elementos básicos são ‘melodia’, ‘harmonia’ e ‘ritmo’.















**A melodia** pode ser entendida como uma sucessão de notas musicais que transmitem ao ouvinte uma mensagem. É o convite para uma viagem discreta em diferentes alturas e intensidades, em ruídos arranjados para comporem o belo, e em momentos de silêncio que valorizam o contraste, dificilmente encontrado nas paisagens sonoras do mundo. A magia da execução põe beleza na interpretação de uma melodia pela subjetividade de quem a interpreta. Nesta viagem, nossa percepção/intenção de escuta por ser a de cada nota, ou uma frase, ou a melodia inteira de uma composição. O percebido-destacado de quem escuta pode ser tão menor ou tão maior quanto se tenha a intenção.

**A harmonia** é a sucessão de notas tocadas simultaneamente e/ou em sequência rítmica que forma um fundo, um campo para a melodia. Esta, muito embora tenha sentido próprio, é sentida também na sua relação com o fundo harmônico, estabelecendo, com ele, uma relação figura-fundo, cujos princípios seguem os parâmetros culturais da consonância e dissonância. A harmonia é, também, jardim da percepção, consistindo numa viagem de alturas e intensidades, agora composta por acordes e suas progressões.

**O ritmo** é o elemento que torna mais evidente o andamento, a divisão do compasso e o estilo de uma música. Consiste na repetição de uma sequência de sons e/ou ruídos que valorizam o movimento, a expressão corporal. Pode ser entendido como a objetivação artística do ciclo, aprendido na relação ancestral com a natureza, ensinando ao homem, desde seu aparecimento, que a beleza está na sucessão das partes que compõem o todo. Dia e noite, ciclo das marés, solstícios e equinócios, as estações de ano deram ao homem a sensação primordial

do ciclo, presente não só no ritmo, mas também nas progressões harmônicas. O ciclo está presente no macro quando um baterista toca, quando uma progressão de acordes é executada no violão por meio de uma batida ou de um dedilhado, ou ainda quando um “deejay” constrói um “loop” numa música eletrônica. Está presente no micro, quando cordas, colunas de ar, membranas e metais oscilam, produzindo, pela ação cultural do músico, os sons musicais.

Melodia, harmonia e ritmo são representados por meio da linguagem musical. Na sua base, estão as figuras das notas musicais, como mostrado a seguir.

Nome	Nota	Pausa	Duração
Semibreve			1
Mínima			1/2
Semínima			1/4
Colcheia			1/8
Semicolcheia			1/16
Fusa			1/32
Semifusa			1/64

Como mostrado no citado quadro, as figuras informam a duração de um som. Tal duração é dada em função da figura de maior duração, que é a semibreve, conforme mostra o quadro a seguir, no qual não colocamos as 64 semifusas por falta de espaço vertical.



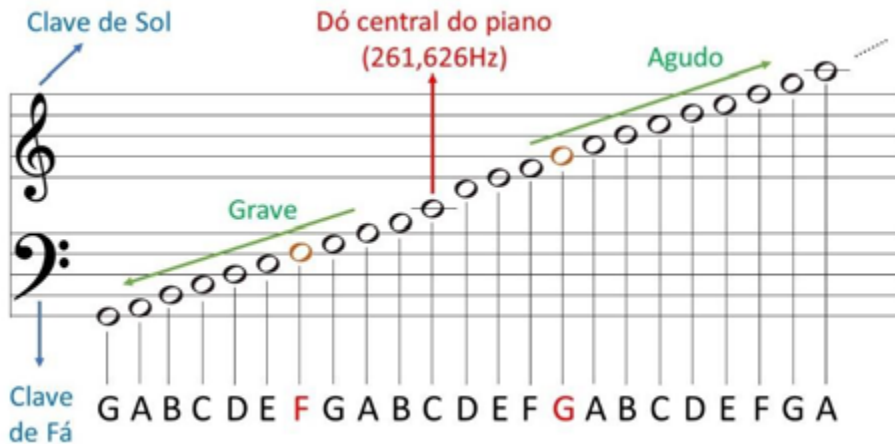
1	2	4	8	16	32
0	P	r	B	B	P P P P P P P P
				B	P P P P P P P P
			B	B	P P P P P P P P
		B		P P P P P P P P	
		r	B	B	P P P P P P P P
				B	P P P P P P P P
	B		B	B	P P P P P P P P
		B		P P P P P P P P	
	P	r	B	B	P P P P P P P P
				B	P P P P P P P P
			B	B	B
		B			P P P P P P P P
r		B	B	P P P P P P P P	
			B	P P P P P P P P	
	B	B	B	P P P P P P P P	
B			P P P P P P P P		

Como podemos ver no quadro, às figuras de notas são atribuídos os números 1 (Semibreve), 2 (Mínima), 4 (Semínima), 8 (Concheia), 16 (Semicolcheia), 32 (Fusa) e 64 (Semifusa), os quais comporão a fórmula de compasso da partitura, como veremos adiante.

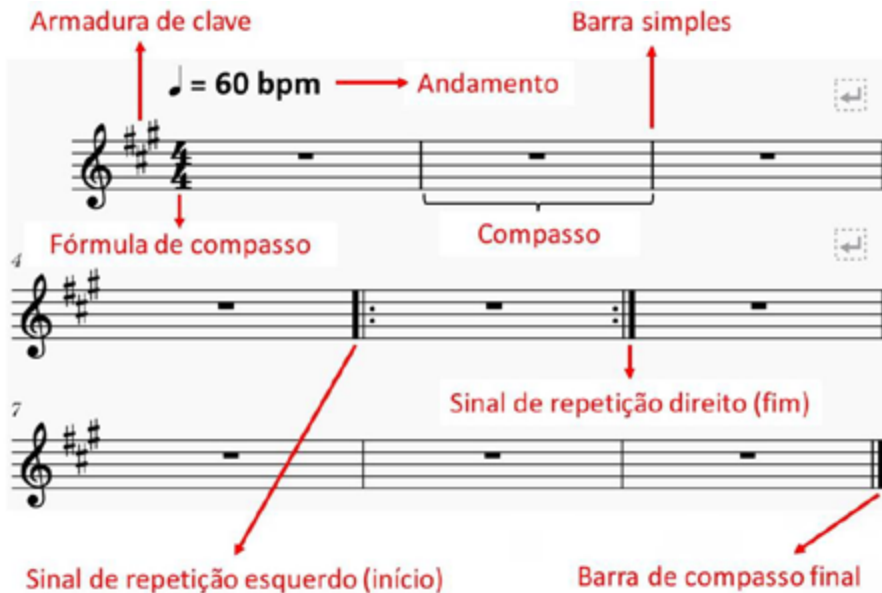
Mas qual a diferença entre figura de nota musical e nota musical? A figura de nota transmite, como visto no quadro anterior, a duração da nota ou da pausa, em termos da fração da figura de maior duração. Quando tal figura é colocada na partitura, ela ganha uma altura, ou seja, passa a ser uma nota musical. Fora da partitura possui duração. Na partitura, possui duração e altura. À altura de cada nota está associada uma frequência, como veremos na aula 15. Mas quais são as notas musicais? O quadro a seguir mostra as 12 notas musicais, seus nomes e seus símbolos, os quais são utilizados na representação gráfica dos acordes, como veremos mais adiante neste livro.

Nota Musical	Símbolo	Nota Musical	Símbolo
Lá	A	Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb
Lá sustenido/Si bemol	A#/Bb	Mi	E
Si	B	Fá	F
Dó	C	Fá sustenido/ Sol bemol	F#/Gb
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db	Sol	G
Ré	D	Sol sustenido/ Lá bemol	G#/Ab

A partitura ou pauta musical se utiliza usualmente de duas claves, cada uma composta por cinco linhas e quatro espaços, quais sejam, a clave de Fá, para as notas mais baixas e a clave de Sol para as notas mais altas. Existe ainda a clave de Dó, muito utilizada na música orquestral, mas não trataremos dela aqui. O ponto de encontro entre as claves de Fá e Sol é o dó central do piano ( $C_3 = 206,626\text{Hz}$ ), estando a nota sol na segunda linha da clave de sol e a nota fá na quarta linha da clave de Fá, conforme ilustra a figura a seguir.

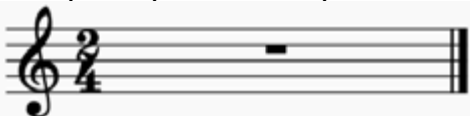
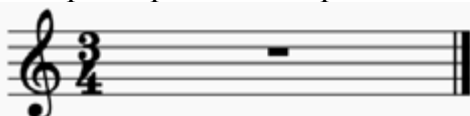
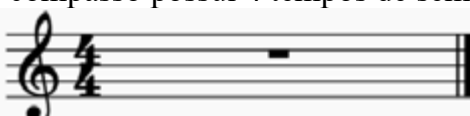
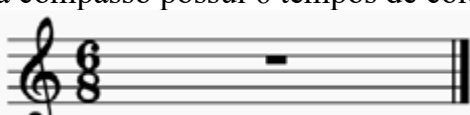


As notas mais graves do que o Sol mais grave, bem como aquelas mais agudas do que o Lá mais agudo são colocadas com linhas e espaços suplementares, abaixo da clave de Fá e acima da clave de Sol, respectivamente. Em resumo, quando uma figura de nota musical é colocada em qualquer linha ou espaço da pauta, ele ganha altura, passando a ser uma nota musical. A figura a seguir apresenta os elementos básicos de uma partitura, utilizando, como exemplo, a clave de Sol.



**Compasso:** a pauta de cinco linhas é dividida em compassos, delimitados pelas barras simples mostradas na figura anterior. Todos os compassos possuem a mesma quantidade de tempos e a mesma duração, definidos pela fórmula de compasso.

**Fórmula de compasso:** como pode ser visto na figura anterior, a fórmula de compasso possui dois números, um embaixo do outro. O número de cima informa a quantidade de tempos de cada compasso, enquanto que o número de baixo informa qual a figura de nota que define a duração de cada tempo do compasso. No exemplo da citada figura, temos 4 tempos de semínima. A figura a seguir mostra as fórmulas de compasso mais comuns.

Cada compasso possui 2 tempos de semínima

Cada compasso possui 3 tempos de semínima

Cada compasso possui 4 tempos de semínima

Cada compasso possui 6 tempos de colcheia


**Andamento:** refere-se ao tempo em segundos da duração das notas musicais. É, na sua essência, uma convenção que relaciona o tempo, em segundos, à duração da figura de nota tomada como referência na fórmula de compasso. No exemplo da figura dos elementos básicos de uma partitura, a fórmula de compasso indica que os compassos terão 4 tempos de semínima e que 60 batimentos de semínima equivalem a 60 bpm. Daí, temos que cada semínima terá uma duração de 1

segundo. Daí, conclui-se, também, que cada compasso terá uma duração de 4 segundos. Neste exemplo, teríamos uma música lenta.

Baseados nas informações da fórmula de compasso e do andamento, é possível calcular o tempo de duração da figura de nota da fórmula de compasso, bem como a duração em segundos de um compasso. A relação a seguir permite achar o tempo, em segundos, da duração da figura de nota tomada como referência na fórmula de compasso.

$$t_{\text{duração da figura de nota}} = \frac{60}{\text{Andamento em bpm}}$$

Por outro lado, a duração, em segundos de um compasso será:

$$t_{\text{de um compasso}} = n_{\text{tempos do compasso}} \times t_{\text{duração da figura de nota}}$$

**Barra de compasso final:** como mostrado na figura dos elementos básicos de uma partitura, a barra de compasso final define o fim da partitura.

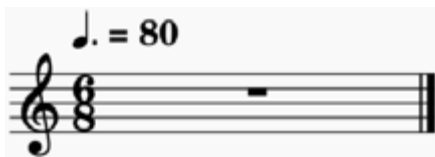
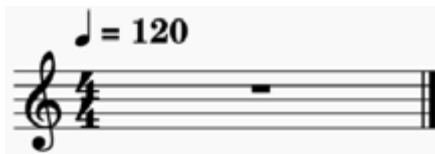
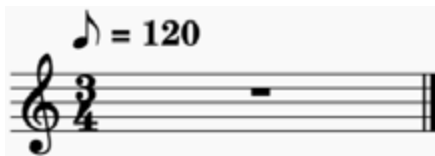
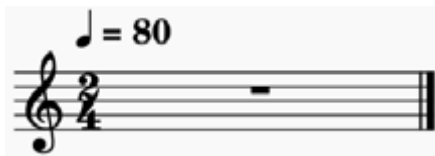
**Barras de repetição:** como mostrado na figura dos elementos básicos de uma partitura, as barras de repetição indicam o início e o fim de um trecho da partitura que se repete, como, por exemplo, um refrão que se toca ou se canta duas vezes.

**Ponto de aumento:** É colocado ao lado de uma nota, aumentando sua duração em 50%. A figura a seguir mostra alguns exemplos da utilização de pontos de aumento. Observe que no segundo compasso, cada semínima com ponto de aumento passa a valer um tempo e meio. Como há duas com ponto de aumento e uma sem ponto de aumento, resulta em  $1,5+1,5+1=4$  tempos. No quarto compasso a mínima com ponto de aumento passa a valer 3 tempos.







### Atividade 1: calculando a duração de um compasso

Para cada um dos casos a seguir, calcule, em segundos, a duração do compasso.



## Atividade 2: operando com a duração das figuras de notas



















1º) Os símbolos empregados na escrita musical indicam a duração de cada nota em relação à semibreve. As durações correspondentes a alguns deles estão descritas no quadro a seguir.

Nome e Símbolo	Duração	Nome e Símbolo	Duração
Semibreve 	1	Semínima 	1/4
Mínima 	1/2	Colcheia 	1/8

Qual a alternativa em que a duração total das notas, em relação à semibreve, é diferente das demais alternativas?



2º) Complete as igualdades abaixo para que as durações sejam equivalentes, da forma como mostra o exemplo inicial.

 +  =	10 	 +  =	
 +  =		 +  =	
 +  =		 +  =	

### Atividade 3: completando os compassos

Como vimos anteriormente, cada compasso de uma partitura tem a quantidade de tempos e a duração de cada tempo determinados pela fórmula de compasso. Aqui iremos completar os compassos em aberto.

1º) Para cada um dos casos abaixo, complete os compassos da partitura com as notas adequadas. Para simplificar, colocamos sempre a mesma nota musical.

Three musical staves for exercise 1. Each staff starts with a treble clef and a time signature (4/4, 3/4, and 6/8 respectively). Each staff contains four measures of music. The first measure has a single note. The second measure has a single note. The third measure has two notes. The fourth measure has three notes. The notes are not filled in, indicating they are to be completed by the student.

2º) Para cada um dos casos abaixo, complete os compassos da partitura com as pausas adequadas. Para simplificar, colocamos sempre a mesma nota musical.

Three musical staves for exercise 2. Each staff starts with a treble clef and a time signature (4/4, 3/4, and 6/8 respectively). Each staff contains four measures of music. The first measure has a single note. The second measure has a single note. The third measure has two notes. The fourth measure has three notes. The notes are not filled in, indicating they are to be completed by the student.



#### Atividade 4: Conferindo a duração dos compassos de Asa Branca

A seguir temos a partitura da música “Asa Branca”, composta por Luiz Gonzaga e Humberto Teixeira em 1947. Está no tom de C, na tonalidade maior (observe que não há sustenidos nem bemóis na armadura de clave). Nela, escrevemos apenas a melodia da primeira estrofe. Para cada compasso, acima de cada nota, coloque sua duração e confirme se todos os compassos estão completos, ou seja, resultam em dois tempos de semínima, como está determinado na fórmula de compasso.

The image shows a musical score for the song "Asa Branca" in 2/4 time. The score consists of ten staves of music, each with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The lyrics are written below the notes. The first staff starts with a treble clef, a key signature of one sharp, and a 2/4 time signature. The lyrics are: quan do lhei a ter rar den do qual fo guei ra de são joão eu per gun te ei a Deus do céu ai ai por que ta ma nha ju di a ção. The score ends with a double bar line and repeat dots.

3  
quan do lhei a  
3  
ter rar den  
5  
do qual fo guei ra  
7  
de são joão  
9  
eu per gun te ei  
11  
a Deus do céu ai  
13  
ai por que ta ma nha  
15  
ju di a ção

Nos capítulos 12 e 13, Schafer advoga que os sons guardam relações sintáticas com as paisagens. Não são eventos abstratos, mas são, ao mesmo tempo, signos, símbolos e sinais acústicos que transmitem informação cultural.

Enquanto signo compõem as representações linguísticas por meio das quais internalizamos e externalizamos nossa percepção. Enquanto sinal, possui significado específico, com resposta imediata. Por exemplo, o som de uma sirene ou o toque de chamada telefônica, ou ainda, uma buzina no trânsito ou toque do final de uma aula.

O símbolo, por sua vez, é mais rico. Para Schafer, um signo possui simbolismo quando significa mais do que a resposta imediata, levando a pensamentos e emoções. Assim acontece também quando um evento sonoro nos remete a emoções e/ou pensamentos. Encontramo-nos no mundo por meio deste simbolismo.

Eu percebo o objeto sonoro, o destaque, torno meu. Eu posso analisá-lo por meio do seu invólucro, cientificamente. Eu posso ainda analisá-lo na sua relação com o todo do qual foi destacado, de forma semiótica, nascendo desta relação os eventos sonoros. Contudo, tais análises não dão conta da dimensão sentimental, dos pensamentos, das emoções que, diferentemente para cada ouvinte, um mesmo sinal pode causar.

Os sons da água talvez sejam os que carreguem o maior dos simbolismos. A chuva, a nascente, o riacho, o rio, a cachoeira, o mar. Sons únicos de cada interação e que tem construído os mais diversos simbolismos ao longo de história de cada sociedade. Assim podemos falar também dos sons dos ventos, dos sinos, das trompas e das sirenes, por exemplo.

É neste cenário do simbolismo que Schafer analisa o ruído. Cientificamente, ruído é um sinal que não possui uma regularidade, em contraste com os sons, os quais possuem curvas de timbre regulares, seja uma curva de seno ou cosseno, no caso de sons puros, sejam curvas complexas, resultado da superposição de curvas de seno e/ou cosseno, no caso de sons complexos.

## **Atividade: refletindo sobre signos, sinais e simbolismos**

1º) Schafer apresenta quatro definições para o ruído, quais sejam:

1. Som não desejado.
2. Um sinal composto por vibrações não periódicas.
3. Qualquer som forte.
4. Distúrbio em qualquer sistema de sinalização.

Podemos afirmar que as definições 2 e 4 possuem fundamentação física, enquanto que as definições 1 e 3 são carregadas de simbolismo? Discorra sobre sua resposta.

2º) Escolha duas músicas: uma serena e outra agitada. Coloque à escuta de algumas pessoas e peça para que cada uma faça um desenho que caracterize a música calma e outro desenho que caracterize a música agitada. Comente aqui sobre os resultados.

3º) Faça uma lista de sinais sonoros que você conhece por meio dos quais se possa comunicar ordens a serem executadas.

4º) Faça uma análise da legislação antirruído da cidade onde você mora. Em que medida ela contempla cada uma das quatro definições para o ruído apresentadas por Schafer e listadas nesta atividade.

5º) Indo além da definição científica de ruído, embasada na periodicidade dos componentes de um som complexo, em direção a um entendimento que leve em consideração os aspectos culturais, faça uma lista dos sons que mais te incomodam e veja em que medida cada um deles se encaixa em uma ou mais de uma das quatro definições de ruído descritas anteriormente.

6º) Sinais sonoros que não possuem padrão são utilizados em música, o que aponta para a expansão da concepção de ruído em direção a considerar não apenas a regularidade do sinal, mas também aspectos simbólicos. Escute as músicas "Speak to me" e "Time" do Pink Floyd. Descreva as impressões que você teve dessas músicas.

# AULA

# 15

## A escala musical de igual temperamento

A estrutura da música ocidental moderna está baseada na escala cromática de 12 semitons e, portanto, treze notas, igualmente temperados. Nesta escala, as treze notas musicais dividem a oitava numa progressão geométrica na qual o 13º termo (que é a oitava, ou seja, a nota de mesmo nome da primeira) possui o dobro da frequência da fundamental (primeira nota).

Sabemos que a distinção auditiva em altura entre as notas ocorre pelo fato de que possuem frequências diferentes. O que caracteriza a qualidade de uma nota pura ser “mais alta” ou “mais baixa” é o fato de ela ter maior ou menor frequência. Quanto mais aguda uma nota, maior sua frequência e quanto mais grave, menor sua frequência. Podemos, então, definir o intervalo entre duas notas quaisquer como sendo a razão entre suas frequências. Assim temos  $I = f_2/f_1$ . Por exemplo, o intervalo de quinta justa ocorre quando  $I = 3/2$ , o de quarta justa quando  $I = 4/3$  e o de oitava, quando  $I = 2$ . Quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais, e, toda escala musical começa e termina na mesma nota musical, separadas por um intervalo de oitava, ou seja, começa com uma nota de frequência  $f$  e termina com frequência  $2f$ .

A escala cromática possui doze notas. A décima terceira é chamada oitava, a mesma nota musical da primeira, agora com o dobro da frequência. Para construirmos a escala cromática, dividimos o intervalo de oitava numa progressão geométrica de 13 termos, criando doze intervalos iguais em altura, chamados de semitons. Assim, a frequência de cada nota da escala cromática será  $\sqrt[12]{2}$  vezes maior que a sua anterior. O quadro a seguir mostra a escala cromática iniciando-se no ‘Lá’ central do piano (220Hz) e encerrando-se no Lá de 440 Hz. Observe que são 12 intervalos iguais em altura e não em variação de frequência, uma vez que o intervalo musical é definido como sendo a razão entre as frequências de duas notas, e não a diferença entre estas frequências, o que subjaz à própria definição da progressão geométrica. É interessante observar que muito embora a frequência não aumente a mesma quantidade a cada semitom, a percepção desse movimento é de passos iguais em altura.

Escala cromática de 12 semitons igualmente temperados			
Nota Musical	Símbolo Musical	Termo da P.G. $a_n = 220. (\sqrt[12]{2})^{n-1}$	Frequência (Hz)
Lá	A	$a_1 = 220. (\sqrt[12]{2})^0$ $a_1 = 220,000$	220,000
Lá sustenido/ Si bemol	A#/ Bb	$a_2 = 220. (\sqrt[12]{2})^1$ $a_2 = 233,081880 \dots$	233,082
Si	B	$a_3 = 220. (\sqrt[12]{2})^2 =$ $a_3 = 246,941650 \dots$	246,942
Dó	C	$a_4 = 220. (\sqrt[12]{2})^3 =$ $a_4 = 261,625565 \dots$	261,626
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/ Db	$a_5 = 220. (\sqrt[12]{2})^4 =$ $a_5 = 277,182630 \dots$	277,183
Ré	D	$a_6 = 220. (\sqrt[12]{2})^5 =$ $a_6 = 293,664767 \dots$	293,665
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/ Eb	$a_7 = 220. (\sqrt[12]{2})^6 =$ $a_7 = 311,126983 \dots$	311,127
Mi	E	$a_8 = 220. (\sqrt[12]{2})^7 =$ $a_8 = 329,627556 \dots$	329,628
Fá	F	$a_9 = 220. (\sqrt[12]{2})^8 =$ $a_9 = 349,228231 \dots$	349,228
Fá sustenido/ Sol bemol	F#/ Gb	$a_{10} = 220. (\sqrt[12]{2})^9 =$ $a_{10} = 369,994422 \dots$	369,994
Sol	G	$a_{11} = 220. (\sqrt[12]{2})^{10} =$ $a_{11} = 391,995435 \dots$	391,995
Sol sustenido/ Lá bemol	G#/ Ab	$a_{12} = 220. (\sqrt[12]{2})^{11} =$ $a_{12} = 415,304697 \dots$	415,305
Lá	A	$a_{13} = 220. (\sqrt[12]{2})^{12} =$ $a_{13} = 440,000$	440,000

O quadro a seguir mostra os valores das frequências das notas musicais em toda a extensão das dez oitavas, seis oitavas acima da oitava que contém o lá central (220 Hz) e três abaixo.

Oitavas 1 a 4			
$E_0$	20,602	$E_2$	82,407
$F_0$	21,827	$F_2$	87,307
$F\#_0/Gb_0$	23,125	$F\#_2/Gb_2$	92,499
$G$	24,500	$G_2$	97,999
$G\#_0/Ab_0$	25,957	$G\#_2/Ab_2$	103,826
$A_0$	27,500	$A_2$	110,000
$A\#_0/Bb_0$	29,135	$A\#_2/Bb_2$	116,541
$B_0$	30,868	$B_2$	123,471
$C_0$	32,703	$C_2$	130,813
$C\#_0/Db_0$	34,648	$C\#_2/Db_2$	138,591
$D_0$	36,708	$D_2$	146,832
$D\#_0/Eb_0$	38,891	$D\#_2/Eb_2$	155,563
$E_1$	41,203	$E_3$	164,814
$F_1$	43,654	$F_3$	174,614
$F\#_1/Gb_1$	46,249	$F\#_3/Gb_3$	184,997
$G_1$	48,999	$G_3$	195,998
$G\#_1/Ab_1$	51,913	$G\#_3/Ab_3$	207,652
$A_1$	55,000	$A_3$	220,000
$A\#_1/Bb_1$	58,270	$A\#_3/Bb_3$	233,082
$B_1$	61,735	$B_3$	246,942
$C_1$	65,406	$C_3$	261,626
$C\#_1/Db_1$	69,296	$C\#_3/Db_3$	277,183
$D_1$	73,416	$D_3$	293,665
$D\#_1/Eb_1$	77,782	$D\#_3/Eb_3$	311,127

<b>Oitavas 5 a 8</b>			
$E_4$	329,628	$E_6$	1318,510
$F_4$	349,228	$F_6$	1396,913
$F\#_4/Gb_4$	369,994	$F\#_6/Gb_6$	1479,978
$G_4$	391,995	$G_6$	1567,982
$G\#_4/Ab_4$	415,305	$G\#_6/Ab_6$	1661,219
$A_4$	440,000	$A_6$	1760,000
$A\#_4/Bb_4$	466,164	$A\#_6/Bb_6$	1864,655
$B_4$	493,883	$B_6$	1975,533
$C_4$	523,251	$C_6$	2093,005
$C\#_4/Db_4$	554,365	$C\#_6/Db_6$	2217,461
$D_4$	587,330	$D_6$	2349,318
$D\#_4/Eb_4$	622,254	$D\#_6/Eb_6$	2489,016
$E_5$	659,255	$E_7$	2637,020
$F_5$	698,456	$F_7$	2793,826
$F\#_5/Gb_5$	739,989	$F\#_7/Gb_7$	2959,955
$G_5$	783,991	$G_7$	3135,963
$G\#_5/Ab_5$	830,609	$G\#_7/Ab_7$	3322,438
$A_5$	880,000	$A_7$	3520,000
$A\#_5/Bb_5$	932,328	$A\#_7/Bb_7$	3729,310
$B_5$	987,767	$B_7$	3951,066
$C_5$	1046,502	$C_7$	4186,009
$C\#_5/Db_5$	1108,731	$C\#_7/Db_7$	4434,922
$D_5$	1174,659	$D_7$	4698,636
$D\#_5/Eb_5$	1244,508	$D\#_7/Eb_7$	4978,032

Oitavas 9 e 10			
$E_8$	5274,041	$E_9$	10548,082
$F_8$	5587,652	$F_9$	11175,303
$F\#_8/Gb_8$	5919,911	$F\#_9/Gb_9$	11839,822
$G_8$	6271,927	$G_9$	12543,854
$G\#_8/Ab_8$	6644,875	$G\#_9/Ab_9$	13289,750
$A_8$	7040,000	$A_9$	14080,000
$A\#_8/Bb_8$	7458,620	$A\#_9/Bb_9$	14917,240
$B_8$	7902,133	$B_9$	15804,266
$C_8$	8372,018	$C_9$	16744,036
$C\#_8/Db_8$	8869,844	$C\#_9/Db_9$	17739,688
$D_8$	9397,273	$D_9$	18794,545
$D\#_8/Eb_8$	9956,063	$D\#_9/Eb_9$	19912,127
		$E_{10}$	21096,163

Partindo do  $E_0$ , quando percorremos as notas musicais, de semitom em semitom, os valores das frequências crescem numa progressão geométrica de  $\sqrt[12]{2}$ , enquanto que, quando percorremos os valores das frequências das oitavas de uma mesma nota musical, constatamos que seus valores vão sempre dobrando, o que também define uma progressão geométrica de oitavas com razão 2. Por exemplo, as frequências da nota “Lá”, da mais grave à mais aguda, são 27,5Hz, 55Hz, 110Hz, 220Hz, 440Hz, 880Hz, 1.760Hz, 3.520Hz, 7.040Hz e 14.080Hz. Desta forma, temos que qualquer nota da décima oitava terá uma frequência 512 vezes maior do que a mesma nota da primeira oitava.

Como estabelecido pela própria progressão geométrica, as frequências das notas musicais crescem exponencialmente e, a cada extensão de uma oitava, a frequência dobra. Esse fato é particularmente interessante, pois denota que a variação em frequência



crece do grave para o agudo, muito embora a variação em altura, que é o correlato perceptivo da variação da frequência, permaneça a mesma. Por exemplo, a variação em frequência do semitom  $A\#_0 - A_0 = 29,135 \text{ Hz} - 27,500 \text{ Hz} = 1,635 \text{ Hz}$ . Por outro lado, quando consideramos a variação em frequência do mesmo semitom  $A - A\#/Bb$ , agora na sétima oitava mostrada na citada tabela, constatamos que a variação em frequência passa a ser  $A\#_6 - A_6 = 1864,655 \text{ Hz} - 1760,000 \text{ Hz} = 104,655 \text{ Hz}$ . A razão entre as diferenças em frequência nos dois semitons considerados resulta em  $104,655 \text{ Hz} / 1,635 \text{ Hz} = 64$ . Isso significa que o intervalo de semitom na sétima oitava precisa ser 64 vezes maior em frequência do que o mesmo intervalo na primeira oitava para produzir a mesma sensação de altura.

Com base nos mesmos argumentos discutidos acima, podemos planejar a confecção de interessantes instrumentos musicais artesanais, tais como a flauta de tubos, consistindo numa boa oportunidade para refletir sobre a teoria física subjacente ao estudo dos tubos sonoros, modos normais de vibração de um tubo sonoro e a construção de instrumentos musicais de sopro. O desenvolvimento de tais ligações como material didático têm tornado possível, além de uma aula mais reflexiva, unir numa mesma ação educativa ciência e cultura. Uma vez que os instrumentos musicais têm suas origens nas culturas, ao longo de suas histórias, seus resgates possibilitam uma reflexão na qual tais artefatos podem ser entendidos como objetos culturais, ou como Raymond Murray Schafer (2012) denomina, corpos sonoros, que se confundem com as culturas próprias de seus povos.

Com o advento dos instrumentos sintetizadores e da música computacional, os limites das frequências das notas musicais expandiram-se tanto para o grave quanto para o agudo, alcançando os limites da audição humana. Isto tornou possível a execução de melodias em oitavas que não eram alcançadas por instrumentos musicais tradicionais. A figura a seguir mostra a tessitura do piano. Juntamente com o órgão de tubos, possuem as mais extensas tessituras dentre os instrumentos musicais.

		$C_7 = 4186,009$ Hz
$A\#/Bb_7 = 3729,310$ Hz		$B_7 = 3951,066$ Hz
$G\#/Ab_7 = 3322,438$ Hz		$A_7 = 3520,000$ Hz
$F\#/Gb_7 = 2959,955$ Hz		$G_7 = 3135,963$ Hz
		$F_7 = 2793,826$ Hz
		$E_7 = 2637,020$ Hz
$D\#/Eb_6 = 2489,016$ Hz		$D_6 = 2349,318$ Hz
$C\#/Cb_6 = 2217,461$ Hz		$C_6 = 2093,005$ Hz
		$B_6 = 1975,533$ Hz
$A\#/Bb_6 = 1864,655$ Hz		$A_6 = 1760,000$ Hz
$G\#/Ab_6 = 1661,219$ Hz		$G_6 = 1567,982$ Hz
$F\#/Gb_6 = 1479,978$ Hz		$F_6 = 1396,913$ Hz
		$E_6 = 1318,510$ Hz
$D\#/Eb_5 = 1244,508$ Hz		$D_5 = 1174,659$ Hz
$C\#/Db_5 = 1108,731$ Hz		$C_5 = 1046,502$ Hz
		$B_5 = 987,767$ Hz
$A\#/Bb_5 = 932,328$ Hz		$A_5 = 880,000$ Hz
$G\#/Ab_5 = 830,609$ Hz		$G_5 = 783,991$ Hz
$F\#/Gb_5 = 739,989$ Hz		$F_5 = 698,456$ Hz
		$E_5 = 659,255$ Hz
$D\#/Eb_4 = 622,254$ Hz		$D_4 = 587,330$ Hz
$C\#/Db_4 = 554,365$ Hz		$C_4 = 523,251$ Hz
		$B_4 = 493,883$ Hz
$A\#/Bb_4 = 466,164$ Hz		$A_4 = 440,000$ Hz
$G\#/Ab_4 = 415,305$ Hz		$G_4 = 391,995$ Hz
$F\#/Gb_4 = 369,994$ Hz		$F_4 = 349,228$ Hz
		$E_4 = 329,628$ Hz
$D\#/Eb_3 = 311,127$ Hz		$D_3 = 293,665$ Hz
$C\#/Db_3 = 277,183$ Hz		$C_3 = 261,626$ Hz
		$B_3 = 246,942$ Hz
$A\#/Bb_3 = 233,082$ Hz		$A_3 = 220,000$ Hz
$G\#/Ab_3 = 207,652$ Hz		$G_3 = 195,998$ Hz
$F\#/Gb_3 = 184,997$ Hz		$F_3 = 174,614$ Hz
		$E_3 = 164,814$ Hz
$D\#/Eb_2 = 155,563$ Hz		$D_2 = 146,832$ Hz
$C\#/Db_2 = 138,591$ Hz		$C_2 = 130,813$ Hz
		$B_2 = 123,471$ Hz
$A\#/Bb_2 = 116,541$ Hz		$A_2 = 110,000$ Hz
$G\#/Ab_2 = 103,826$ Hz		$G_2 = 97,999$ Hz
$F\#/Gb_2 = 92,499$ Hz		$F_2 = 87,307$ Hz
		$E_2 = 82,407$ Hz
$D\#/Eb_1 = 77,782$ Hz		$D_1 = 73,416$ Hz
$C\#/Db_1 = 69,296$ Hz		$C_1 = 65,406$ Hz
		$B_1 = 61,735$ Hz
$A\#/Bb_1 = 58,270$ Hz		$A_1 = 55,000$ Hz
$G\#/Ab_1 = 51,913$ Hz		$G_1 = 48,999$ Hz
$F\#/Gb_1 = 46,249$ Hz		$F_1 = 43,654$ Hz
		$E_1 = 41,203$ Hz
$D\#/Eb_0 = 38,891$ Hz		$D_0 = 36,708$ Hz
$C\#/Db_0 = 34,648$ Hz		$C_0 = 32,703$ Hz
		$B_0 = 30,868$ Hz
$A\#/Bb_0 = 29,135$ Hz		$A_0 = 27,500$ Hz

## Atividade 1: medindo as frequências numa corda de violão

1º) De posse de um violão, coloque-o sobre uma mesa, com o tampo voltado para cima. Abra o ‘app’ “gStrings” e coloque o smartphone sobre o tampo do violão.

2º) Verifique se a corda “Mi” está afinada ( $E_2 = 82,4\text{Hz}$ ). Caso não esteja, afine-a, esticando-a ou distendendo-a, conforme esteja com uma frequência, respectivamente, abaixo ou acima do valor mencionado. Esta será a frequência inicial  $f_0$ .

3º) Na sequência, pressione-a na primeira casa, conforme mostra a figura a seguir (à esquerda). Toque a corda e anote o valor da frequência mostrado no “gStrings”. Esta nota será o F.

4º) Na sequência, pressione-a na segunda casa, conforme mostra a figura a seguir (à direita). Toque a corda e anote o valor da frequência mostrada no “gStrings”. Esta nota será o F#.

1º traste: nota F



2º traste: nota F#



5º) Repita este procedimento até chegar ao 12º traste. Você terá medido as frequências das treze notas que compõem da oitava do mi da sexta corda do violão. Anotes os valores no quadro a seguir.

Nota	$f$ Calculado (Hz)	$f$ Medido (Hz)
$E_2$	82,407	
$F_2$	87,307	
$F\#_2/Gb_2$	92,499	
$G_2$	97,999	
$G\#_2/Ab_2$	103,826	
$A_2$	110,000	
$A\#_2/Bb_2$	116,541	
$B_2$	123,471	
$C_2$	130,813	
$C\#_2/Db_2$	138,591	
$D_2$	146,832	
$D\#_2/Eb_2$	155,563	
$E_3$	164,814	

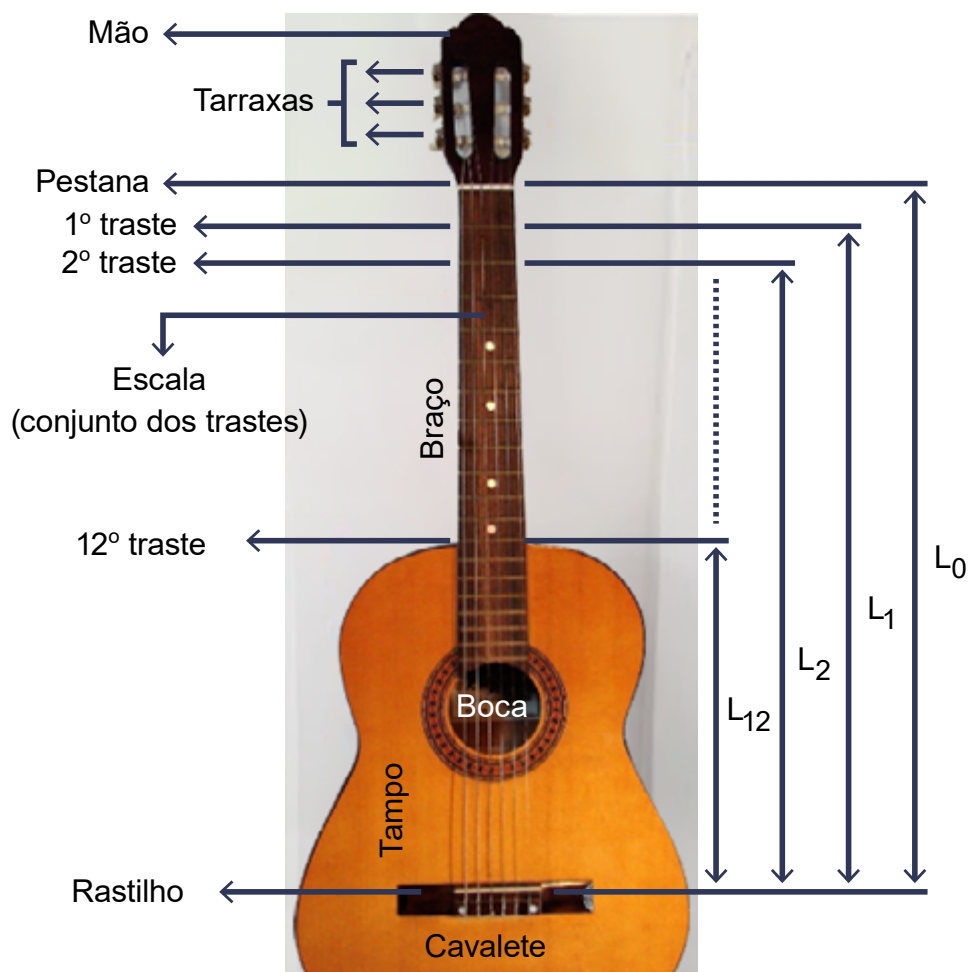
6º) Compare os valores medidos com os calculados. A que conclusão você chegou?

7º) A tessitura de um instrumento musical é a extensão de notas que ele alcança, da mais grave à mais aguda. Qual instrumento musical possui a maior tessitura? Qual instrumento musical possui a menor tessitura? Qual instrumento musical alcança a nota mais grave? Qual instrumento musical alcança a nota mais aguda?

8º) A faixa de frequência das notas musicais de instrumentos reais compreende apenas um intervalo da faixa de frequência da audição humana. A nota mais grave que pode ser ouvida é o  $E_0 = 20,6Hz$ , que se situa abaixo do  $A_0 = 27,5Hz$ , que é a nota mais grave do piano. A nota mais aguda que pode ser ouvida é  $D\#_9 = 19.912,127Hz$ , a qual está bem acima da nota mais aguda do piano, que é o  $C_7 = 4.186,009Hz$ . Que relação isto guarda com a evolução da música vocal renascentista para a música orquestral do século XIX?

## Atividade 2: medindo o padrão de intervalos da escala do violão

A figura a seguir mostra um violão. Em seu braço existe um conjunto de hastes de metal, dispostas transversalmente, chamadas de “trastes”. Sua função é a de diminuir o comprimento útil das cordas, reproduzindo as diferentes notas musicais. Numa única corda, é possível reproduzir todas as treze notas de uma oitava, vibrando-a solta (entre o rastilho e a pestana), emitindo sua nota mais grave, e, depois, diminuindo seu comprimento útil do 1º até o 12º traste. A pestana é uma peça de acrílico colocada numa ranhura que existe logo no início do braço. O rastilho é fixo noutra ranhura que se situa acima do cavalete, peça de madeira que é colada ao tampo do violão.



1º) De posse de um violão, meça a distância do rastilho até a pestana ( $L_0$ ). Preencha o quadro a seguir.

2º) Na sequência, meça a distância do rastilho até o 1º traste ( $L_1$ ), do rastilho até o 2º traste ( $L_2$ ), e assim consecutivamente, até alcançar o 12º traste ( $L_{12}$ ), completando, assim, a oitava. Preencha o quadro a seguir.

3º) Na sequência, calcule as razões  $L_0/L_1, L_0/L_1, L_2/L_3 \dots L_{12}/L_{11}$ . Preencha o quadro a seguir.

$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$
$L_7$	$L_8$	$L_9$	$L_{10}$	$L_{11}$	$L_{12}$	
$L_0/L_1$	$L_1/L_2$	$L_2/L_3$	$L_3/L_4$	$L_4/L_5$	$L_5/L_6$	$L_6/L_7$
$L_7/L_8$	$L_8/L_9$	$L_9/L_{10}$	$L_{10}/L_{11}$	$L_{11}/L_{12}$	$L_{12}/L_{13}$	

4º) Analisando as razões encontradas, o que dizer a respeito da disposição dos trastes no braço do violão?

5º) O contrabaixo possui o braço maior do que o braço do violão. As distâncias entre os trastes também são maiores do que as distâncias entre os trastes do violão. Se realizarmos, no contrabaixo, o mesmo procedimento experimental realizado acima, o que você esperaria a respeito das razões calculadas?

Nos capítulos 14 e 15, Schafer defende que a grande revolução necessária à construção de uma educação sonora capaz de transformar as pessoas de seres ruidosos a compositores capazes de atuar conscientemente na melhoria das paisagens sonoras é a unificação das disciplinas ligadas à ciência e à arte dos sons, em direção à construção de uma interdisciplina denominada “Projeto Acústico”.

Ainda segundo ele, a ecologia acústica é o estudo dos sons em relação à vida e à sociedade. Seu objetivo principal é o de desenvolver formas de atuar capazes de melhorar a qualidade dos ambientes acústicos e isso não pode ser desenvolvido em laboratório. Precisa estar ‘in loco’, analisar os efeitos do ambiente acústico sobre os seres que ali vivem, dentre eles o homem.

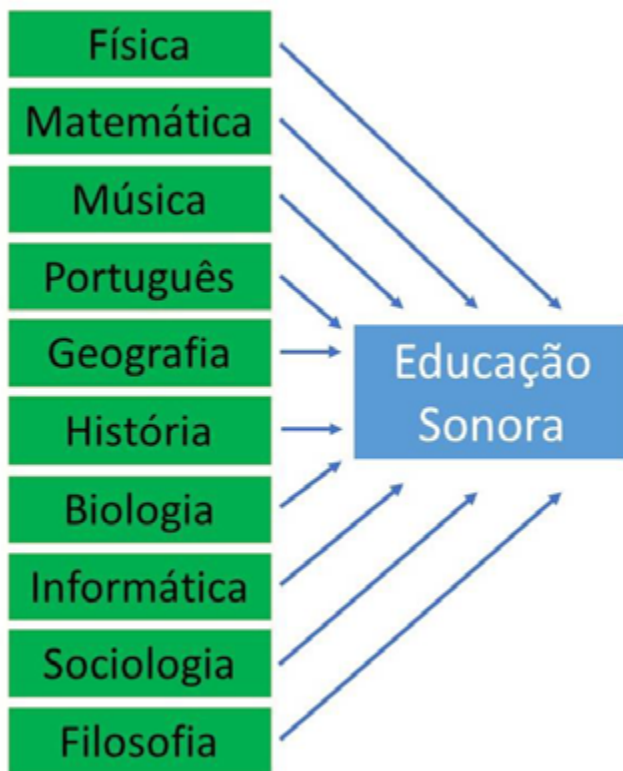
A análise da ecologia acústica é o primeiro e necessário passo à construção do projeto acústico. Partindo dos estudos de paisagens sonoras e do estudo da ecologia acústica, os conceitos disciplinares podem contribuir na construção de uma análise mais profunda e eficaz, dialogando com as dimensões científica, social e artística, em direção ao estabelecimento das bases desta nova interdisciplina, denominada por ele de projeto acústico. Segundo Schafer, o projeto acústico requer os talentos de cientistas, cientistas sociais e artistas (em particular, músicos), na busca dos princípios pelos quais a qualidade estética da paisagem sonora possa ser melhorada. As pessoas precisam, por meio da audição pensante, perceber os efeitos insalubres ou hostis de ambientes lo-fi. Além disso, terem competência para planejar modificações, melhorias para o bem comum, pois as paisagens sonoras são dinâmicas, transformáveis e, assim, passíveis de serem aperfeiçoadas.

A grande inquietação, contudo, está no ‘que fazer’, constituindo numa das vertentes da pesquisa em educação sonora: como promover ações de ensino na formação de consciências auditivas acerca dos problemas acústicos de nossa comunidade, capazes de sensibilizar as pessoas, transformando-as em agentes cuidadores da qualidade das paisagens sonoras?

## Atividade: experimentando a audição pensante

1º) Há lugares em que o ambiente modifica os sons de forma excepcional, sejam eles naturais ou arquitetônicos. Visite um ambiente natural e outro arquitetônico da cidade que você mora e tente descrever que características destes ambientes produzem um ambiente hi-fi.

2º) O projeto acústico, interdisciplina idealizada por Schafer, aponta para a necessidade de unificação dos saberes disciplinares que, de alguma forma, guardam relação com os estudos de paisagens sonoras. A figura a seguir mostra disciplinas do ensino escolar necessárias ao desenvolvimento da sensibilização da audição e da audição pensante, sintetizando o pensamento multidimensional da educação sonora como um promissor tema transversal na formação de cidadãos auditivamente mais críticos. Descreva as possíveis contribuições de cada uma das disciplinas para a educação sonora.





# AULA 17

## Princípios da harmonia musical

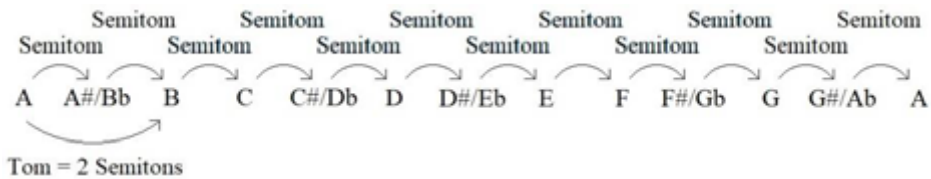
Na aula 15 discutimos os fundamentos matemáticos do temperamento da escala de 12 semitons a partir de uma progressão geométrica de razão  $\sqrt[12]{2} = 1,05946 \dots$ , a qual define o menor intervalo que é o de semitom, ou seja:

$$I_{\text{semiton}} = \frac{f_2}{f_1} = \sqrt[12]{2} = 1,05946 \dots$$

O quadro a seguir apresenta os intervalos musicais da escala de doze semitons, não esquecendo de que se trata da progressão geométrica já discutida. Por outro lado, a partir de agora, trataremos as notas musicais e seus símbolos simplesmente como notas, utilizando apenas os símbolos.

Intervalos da escala de 12 semitons	
Nota	Intervalo musical
A	Unísono
A#/Bb	Segunda menor
B	Segunda maior
C	Terça menor
C#/Db	Terça maior
D	Quarta justa
D#/Eb	Quarta aumentada ou quinta diminuta
E	Quinta justa
F	Quinta aumentada ou sexta menor
F#/Gb	Sexta maior ou sétima diminuta
G	Sétima menor
G#/Ab	Sétima maior
A	Oitava

O intervalo entre qualquer nota e sua anterior, ou posterior, é de um semitom, de forma que entre qualquer nota e sua oitava, teremos 12 semitons, como mostrado na figura a seguir, na qual partimos da nota A.



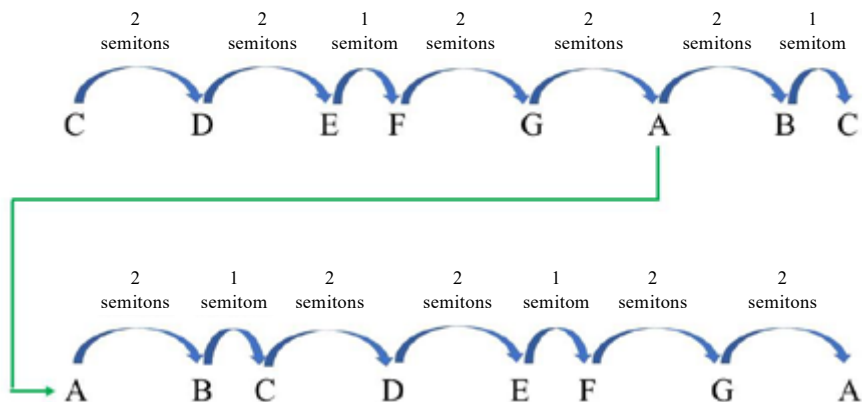
É importante que se diga que a escala de doze semitons igualmente temperados consiste na escala que estrutura o padrão de intervalos que está na base da música ocidental. Esta escala não é usada como um todo nas composições musicais, e sim escalas derivadas dela. Há uma diversidade de escalas derivadas da escala de doze semitons, com cinco, seis e sete notas, além da oitava. As escalas de cinco notas são conhecidas como escalas pentatônicas. Contudo, as escalas mais comuns e largamente utilizadas na música ocidental são a escala maior e a escala menor natural. O quadro a seguir mostra o padrão de intervalos, em semitons, da escala maior e da escala menor natural, além de alguns exemplos de outras escalas.

Escala (número de notas com a oitava)	Padrão de intervalos em semitons a partir da tônica
Maior (8 notas)	2 – 2 – 1 – 2 – 2 – 2 – 1
Menor natural (8 notas)	2 – 1 – 2 – 2 – 1 – 2 – 2
Menor harmônica (8 notas)	2 – 1 – 2 – 2 – 1 – 3 – 1
Menor melódica (8 notas)	2 – 1 – 2 – 2 – 2 – 2 – 1
Escala de tons inteiros (7 notas)	2 – 2 – 2 – 2 – 2 – 2
Escala diminuta (9 notas)	2 – 1 – 2 – 1 – 2 – 1 – 2 – 1
Escala pentatônica (6 notas)	2 – 2 – 3 – 2 – 3
Escala pentatônica menor (6 notas)	3 – 2 – 2 – 3 – 2

Observe no quadro que a soma dos intervalos em todas as escalas apresentadas dá sempre 12 semitons, ou seja, todas iniciam e terminam na mesma nota musical, separadas por um intervalo de oitava.

## A escala maior e a escala menor natural

Como dito anteriormente, a escala maior e a escala menor natural constituem-se nas escalas mais utilizadas na música popular. Estas escalas possuem as mesmas notas, porém começam em notas diferentes. Por possuírem as mesmas notas, são chamadas de relativas. Toda escala maior possui uma escala menor natural relativa, assim como toda escala menor natural possui uma escala maior relativa. A escala menor relativa começa no sexto grau (sexta nota) da escala maior. Por outro lado, a escala maior começa no terceiro grau (terceira nota) da escala menor. A figura a seguir mostra a escala de C (C maior) e sua relativa Am (A menor).



Como podemos ver na imagem, partindo do C, temos o padrão de intervalos (2 – 2 – 1 – 2 – 2 – 2 – 1). Partindo de A, temos o padrão de intervalos (2 – 1 – 2 – 2 – 1 – 2 – 2).

As escalas maiores e suas relativas menores, além de possuírem as mesmas notas musicais, guardam relações harmônicas importantes para se entender a estrutura das progressões básicas de acordes, como veremos mais adiante nesta aula. O quadro a seguir mostra a escala maior nos doze tons e suas escalas menores relativas.

Grau	12 ESCALAS MAIORES											
I	A	Bb	B	C	Db	D	Eb	E	F	F#	G	Ab
1 tom = 2 semitons												
II	B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
1 tom = 2 semitons												
III	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C
1 semiton												
IV	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B	C	Db
1 tom = 2 semitons												
V	E	F	F#	G	Ab	A	Bb	B	C	C#	D	Eb
1 tom = 2 semitons												
VI	F#	G	G#	A	Bb	B	C	C#	D	D#	E	F
1 tom = 2 semitons												
VII	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G
1 semiton												
VIII	A	Bb	B	C	Db	D	Eb	E	F	F#	G	Ab
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Grau	12 ESCALAS MENORES NATURAIS											
I	F#	G	G#	A	Bb	B	C	C#	D	D#	E	F
1 tom = 2 semitons												
II	G#	A	A#	B	C	C#	D	D#	E	F	F#	G
1 semiton												
III	A	Bb	B	C	Db	D	Eb	E	F	F#	G	Ab
1 tom = 2 semitons												
IV	B	C	C#	D	Eb	E	F	F#	G	G#	A	Bb
1 tom = 2 semitons												
V	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C
1 semiton												
VI	D	Eb	E	F	Gb	G	Ab	A	Bb	B	C	Db
1 tom = 2 semitons												
VII	E	F	F#	G	Ab	A	Bb	B	C	C#	D	Eb
1 tom = 2 semitons												
VIII	F#	G	G#	A	Bb	B	C	C#	D	D#	E	F

Estes oito graus que ordenam a posição de cada nota nas 12 tonalidades maiores e menores são denominados da seguinte forma:

GRAUS	NOMENCLATURA
I	Tônica
II	Supertônica
III	Mediante
IV	Subdominante
V	Dominante
VI	Sub-mediante ou relativa menor
VII	Sétima
VIII	Tônica (Oitava)

### **Formação básica dos acordes: as tríades**

A harmonia é o arranjo musical, composto de acordes e suas progressões, que estabelece o fundo em cima do qual a melodia é executada, estabelecendo uma relação figura-fundo intencionalmente composta. Os acordes são arranjos de três ou mais notas e sua execução é uma complexa expressão da cultura. Por exemplo, a harmonia acontece quando executamos uma progressão de acordes dedilhando ou realizando uma batida num violão. A harmonia pode acontecer também quando um naipe de sopro executa nas notas que compõem uma progressão de acordes, harmonizando melodias de frevo. De forma mais complexa, um conjunto de naites de sopro e cordas harmonizam uma peça clássica. Há inúmeras expressões harmônicas que se caracterizam pelos elementos específicos das culturas e das enculturações.

As tríades básicas da estrutura harmônica são formadas pelas notas dos graus I, III e V. Como se diz popularmente, os acordes básicos são formados pela primeira, a terceira e a quinta notas das escalas. O quadro a seguir mostra os doze intervalos da escala cromática, com seus respectivos graus e símbolos.

Nome	Nome do Intervalo	Grau	Intervalo	Acorde
Tônica	Fundamental	I	Uníssonos	
Supertônica	Segunda menor	ii	2m	b9
	Segunda maior	II	2M	9
Mediante	Segunda aumentada Ou Terça menor	iii	2aum 3m	#9 m
	Terça maior	III	3M	
Subdominante	Quarta justa ou Décima primeira justa	IV	4J	4 11
Trítone	Quarta aumentada ou Quinta diminuta	IV+ V°	4aum 5dim	#11 b5
Dominante	Quinta justa	V	5J	
Submediante ou Relativa menor	Quinta aumentada ou Sexta menor	V+ iv	5aum 6m	#5 b6 ou b13
	Sexta maior ou Sétima diminuta	VI vii°	6M 7dim	6 ou 13 ° ou dim
Subtônica ou Sétima	Sétima menor	vii	7m	7
	Sétima maior	VII	7M	7M
Tônica	Oitava	VIII	Oitava	

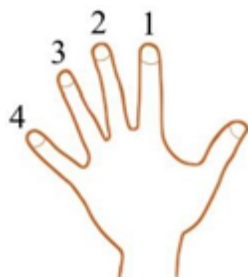
Há quatro tipos tríades: maiores, menores, aumentadas e diminutas. A diferenciação entre as quatro tríades básicas é em relação aos graus III (maior ou menor) e V (justa, aumentada ou diminuta), se são maiores ou menores, conforme quadro a seguir.

Tipos de Tríades	Notas que compõem o acorde		
	Fundamental	terça	quinta
Maior	Fundamental	Maior	Justa
Menor	Fundamental	Menor	Justa
Aumentada	Fundamental	Maior	Aumentada
Diminuta	Fundamental	Menor	Diminuta

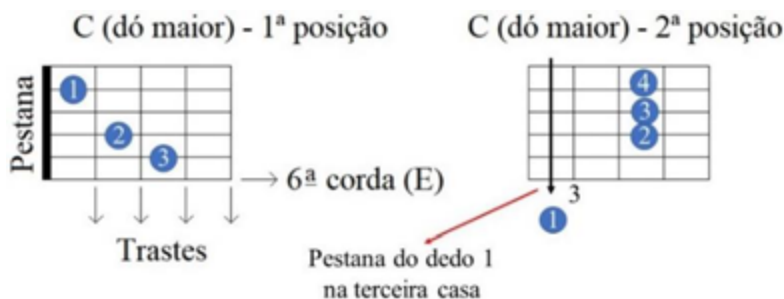
Por exemplo, na escala de C, teremos:

As quatro tríades	Símbolo do acorde	Notas que compõem o acorde		
		Fundamental	Terça	Quinta
C Maior	C	C	E	G
C Menor	Cm	C	E $\flat$	G
C aumentado	C(#5)	C	E	G $\sharp$
C diminuto	C(b5)	C	E $\flat$	G $\flat$

Para a formação dos acordes ao longo do braço do violão, utilizamos um padrão internacional de cifragem. As figuras a seguir mostram a mão esquerda e este padrão onde o acorde é montado. Os números de 1 a 4 referem-se aos dedos da mão esquerda (para um executante destro).



Mão esquerda



Na internet existe um grande número de sites com músicas cifradas e excelentes materiais didáticos para quem quiser aprender a tocar violão.

## Formação de tríades diatônicas a partir das escalas maior e menor

A partir da escala maior ou da escala menor natural podemos montar as tríades naturais, destas escalas. Para tanto, partindo de cada nota da escala, completamos com a terça e a quinta, contada a partir de cada nota.

Escala de C (dó maior)							
Graus	I	II	III	IV	V	VI	VII
1 <sup>a</sup>	C	D	E	F	G	A	B
3 <sup>a</sup>	E	F	G	A	B	C	D
5 <sup>a</sup>	G	A	B	C	D	E	F
Acorde	C	Dm	Em	F	G	Am	B(b5)

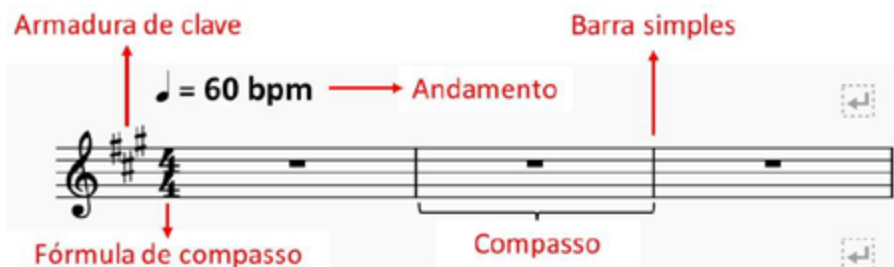
Podemos observar que as tríades formadas a partir da tônica, e dos graus IV e V são maiores, enquanto que as tríades formadas a partir dos graus II, III e VI são menores. A tríade formada no grau VII é uma tríade diminuta, pois resulta da superposição de duas terças menores. A seguir, temos a escala relativa de C, que é a escala de Am, bem como todas as tríades que são montadas a partir das notas que compõem a citada escala.

Escala de Am (lá menor)							
Graus	I	II	III	IV	V	VI	VII
1 <sup>a</sup>	A	B	C	D	E	F	G
3 <sup>a</sup>	C	D	E	F	G	A	B
5 <sup>a</sup>	E	F	G	A	B	C	D
Acorde	Am	B(b5)	C	Dm	Em	F	G



## Armadura de clave, círculo das quartas e círculo das quintas

Na aula 13 (A linguagem musical), dentre os elementos constituintes da partitura, apresentamos a armadura de clave, mas não a discutimos. Como podemos ver na figura a seguir, ela se situa no início da partitura, logo após a figura de clave. Como vimos naquela aula, cada tom possui um certo número de sustenidos ou bemóis que o caracteriza.



Por outro lado, cada escala maior tem uma escala menor relativa, a qual é composta pelas mesmas notas e, portanto, terá o mesmo número de sustenidos ou bemóis. Desta forma, há doze armaduras de clave, cada uma das quais representa um dos doze tons, em sua tonalidade maior e relativa menor. Nas duas figuras a seguir apresentamos tais armaduras.



C e Am



G e Em



D e Bm



A e F#m



E e C#m



B e G#m



F# e D#m



C e Am



F e Dm



Bb e Gm



Eb e Cm



Ab e Fm



Db e Bbm



Gb e Ebm

Tais figuras, da forma como estão organizadas, consistem em imagens guia da forma como vão sendo acrescentados sustenidos e bemóis em cada armadura de clave posterior à de C. Tal organização é denominada círculo das quintas, para os sustenidos, e círculo das quartas, para os bemóis.

**O círculo das quintas** se baseia na nota de grau V. Partindo da escala de C, a nota de grau V será G. A armadura de G terá um sustenido, que será a sétima nota da sua escala, ou seja, F#. A quinta nota da escala de G será, por sua vez, D. A armadura de D terá dois sustenidos, quais sejam o F# e a sétima nota da escala de D, que é C#, e assim por diante. O quadro a seguir sintetiza o círculo das quintas.

Armadura	Nota do grau V	Nº de sustenidos
C	G	0 #
G	D	1 #
D	A	2 #
A	E	3 #
E	B	4 #
B	F#	5 #
F#		6 #

**O círculo das quartas** se baseia na nota de grau IV. Partindo da escala de C, a nota de grau IV será F. Portanto, a armadura de F terá um bemol, que será a quarta nota da sua escala, ou seja, Bb. A armadura de Bb terá dois bemóis, quais sejam o Bb e a quarta nota da escala de Bb, que é Eb, e assim por diante. O quadro a seguir sintetiza o círculo das quartas. Gb e F# são enarmônicos, de forma que tanto faz representar com 6# ou 6b.

Armadura	Nota do grau IV	Nº de sustenidos
C	F	0 b
F	Bb	1 b
Bb	Eb	2 b
Eb	Ab	3 b
Ab	Db	4 b
Db	Gb	5 b
Gb		6 b

### Teoria dos três acordes

Segundo Ralph Denyer, em seu livro “The Guitar Handbook” (DENYER, 1992, p. 76), quando alguém já dominar um certo número de acordes e que já estiver realizando progressões com eles, ficará óbvio que algumas combinações de acordes soam melhor quando tocadas juntas, do que outras. Em qualquer tom, há três acordes que sempre soarão bem quando tocados juntos, seja qual for a ordem e tom em que forem tocados. São chamados de acordes primários e estão na base de praticamente todas as composições. Tratam-se dos acordes formados a partir dos graus I, IV e V, conhecidos como acorde de tônica (grau I), acorde subdominante (grau IV) e acorde dominante (grau V). O quadro a seguir mostra a progressão mais básica da estrutura harmônica, qual seja, I – IV – V – I, nas tonalidades mais utilizadas na música popular.

Tonalidades	I	IV	V	I
C	C	F	G	C
Am	Am	Dm	Em	Am
D	D	G	A	D
Bm	Bm	Em	F#m	Bm
E	E	A	B	E
C#m	C#m	F#m	G#m	C#m
F	F	Bb	C	F
Dm	Dm	Gm	Am	Dm
G	G	C	D	G
Em	Em	Am	Bm	Em
A	A	D	E	A
F#m	F#m	Bm	C#m	F#m

### Acordes com mais de três notas e outras progressões comuns.

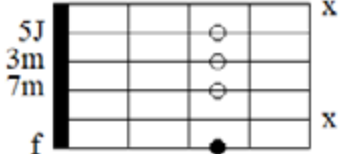
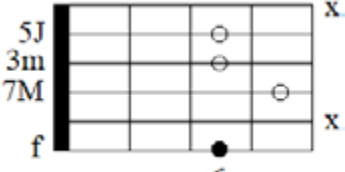

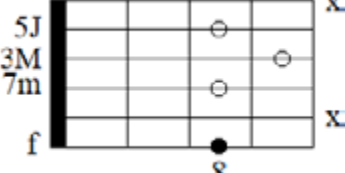
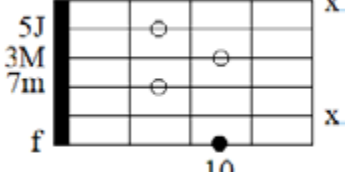

A estas tríades básicas, outras notas podem ser acrescentadas, resultando em acordes de quatro notas, cinco notas, seis notas. O mais comum dos acordes de quatro notas é aquele em que se acrescenta a sétima nota da escala, os conhecidos acordes de sétima maior e sétima menor. Tais acordes de sétima exercem funções harmônicas de tensão ou de passagem ou ainda de adorno. Por exemplo, na progressão I – IV – V – I, ao acorde de quinta pode ser adicionada uma sétima menor, aumentando a tensão que irá se resolver no acorde I, resultando na progressão I – IV – V7 – I. Podemos, ainda, acrescentar a sétima ao acorde de grau I, aumentando a tensão a se resolver no acorde de grau IV, resultando na progressão I – I7 – IV – V7 – I. O quadro a seguir mostra alguns dos acordes mais utilizados na música popular. O “X” representa uma cifra genérica.

Cifra	Nome	Constituição
X	Acorde maior	I – III – V
Xm	Acorde menor	I – iii – V
X7	Acorde maior com sétima menor	I – III – V - vii
Xm7	Acorde menor com sétima menor	I – iii – V – vii
X7M	Acorde maior com sétima maior	I – III – V – VII
Xm(7M)	Acorde menor com sétima maior	I – iii – V – VII
Xsus4	Acorde com quarta suspensa	I – IV – V
X7sus4	Acorde com sétima menor e quarta suspensa	I – IV – V – vii
X6	Acorde maior com sexta	I – III – V – VI
Xm6	Acorde menor com sexta	I – iii – V – VI
X9	Acorde maior com nona maior	I – II – III – V
Xm9	Acorde menor com nona maior	I – II – iii – V
X(#9)	Acorde maior com nona aumentada	I – II+ – III – V
X6(9)	Acorde maior com sexta e nona maior	I – II – III – V – VI
X7(9)	Acorde maior com sétima menor e nona maior	I – II – III – V – vii
X7(#9)	Acorde maior com sétima menor e nona aumentada	I – II+ – III – V – vii
X7(b9)	Acorde maior com sétima menor e nona menor	I – ii – III – V – vii
X(#5)	Acorde aumentado	I – III – V+
X7aum	Acorde maior com sétima menor e quinta aumentada	I – III – V+ – vii

X <sup>o</sup>	Acorde diminuto (acorde menor com quinta diminuta e sétima diminuta)	I – iii – V <sup>o</sup> – vii <sup>o</sup>
X(b5)	Acorde maior com quinta diminuta	I – III – V <sup>o</sup>
X7(b5)	Acorde maior com sétima menor e quinta diminuta	I – III – V <sup>o</sup> - vii
X9(b5)	Acorde maior com quinta diminuta e nona maior	I – II – III – V <sup>o</sup>
X(11)	Acorde maior com décima primeira maior	I – III – IV – V
X(13)	Acorde maior com décima terceira maior	I – III – V – VI
X7M(6,9)	Acorde com sétima maior, sexta e nona	I – II - III – V – VI – VII
X <sup>φ</sup> ou Xm7(b5)	Acorde meio diminuto	I – iii – V <sup>o</sup> – vii
X7(#5)	Acorde com sétima menor e quinta aumentada	I – III – V+ - vii
X7M(b5)	Acorde com sétima maior e quinta diminuta	I – III – V <sup>o</sup> – VII
X7M(#5)	Acorde com sétima maior e quinta aumentada	I – III – V+ – VII
X/III	Acorde maior com terça no baixo	III – I – V
X/V	Acorde maior com quinta no baixo	V – I – III
Xm/III	Acorde menor com terça no baixo	iii – I – V
Xm/V	Acorde menor com quinta no baixo	V – I – iii
Xm7(9)	Acorde menor com sétima menor e nona maior	I – II – iii – V – vii

## Atividade 1: identificando acordes pelo diagrama

Para cada diagrama a seguir, coloque a cifra e o nome do acorde, como mostrado no primeiro exemplo. O círculo preto indica a nota fundamental, a partir da qual são identificados os intervalos. As cordas com o símbolo “x” não participam do acorde.

	<p style="text-align: center;">Gm7 G menor com sétima menor</p>
	
	
	
	
	

## Atividade 2: identificando intervalos e acordes pelo diagrama

Para cada diagrama, identifique os intervalos a partir da fundamental, coloque a cifra e o nome do acorde, como mostrado no primeiro exemplo. Todas as fundamentais estão na terceira casa (G). As cordas com o símbolo “x” não participam do acorde.

	<p>f, 3M, 5J, 6 G6 G maior com sexta maior</p>



### Atividade 3: a progressão de acordes em Asa Branca

A seguir temos a letra cifrada da música “Asa Branca”, composta por Luiz Gonzaga e Humberto Teixeira em 1947. Está no tom de C, na tonalidade maior. Nela, escrevemos apenas a melodia da primeira estrofe.

1º) Sabendo que o tom é C, coloque o grau de cada acorde da harmonia em relação ao acorde fundamental.

C
F
C
G
C  
 Quando olhei a terra ardendo, qual fogueira de São João  
Gm7 C7
F Fm
C
G7
C  
 Eu perguntei a Deus do céu, ai, por que tamanha judiação

Acordes no tom C	Grau	Acordes no tom G
C		
F		
G		
Gm7		
C7		
Fm		
G7		

2º) Transponha a música para a tonalidade de G, tomando por base o grau de cada acorde. Preencha a terceira coluna da tabela acima e coloque as cifras no tom G, na letra a seguir.

Quando oiei a terra ardendo, qual fogueira de São João

Eu perguntei a Deus do céu, ai, por quê tamanha judiação

## Atividade 4: o blues de 12 compassos

Uma progressão básica do blues de 12 compassos é a mostrada na partitura a seguir, harmonizada na tonalidade de E.

The musical notation consists of three staves in E major (one sharp) and 4/4 time. The first staff contains measures 1-4, each with a whole rest and an 'E' chord label above. The second staff contains measures 5-8, with whole rests and chord labels 'A', 'A', 'E', and 'E' above. The third staff contains measures 9-12, with whole rests and chord labels 'B', 'B', 'E', and 'B' above. The piece ends with a double bar line at the end of the 12th measure.

1º) Complete o quadro a seguir, identificando o grau de cada um dos acordes da progressão do blues de 12 compassos.

	Compassos												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Grau do Acorde													

2º) A seguir mostramos a primeira estrofe da música “Whisky a go-go”, composta por “Michael Sullivan” e “Paulo Massadas” em 1984. De que forma sua harmonia se relaciona ao padrão clássico do blues de 12 compassos acima apresentado?

E  
 Foi numa festa, gelo e Cuba Libre e na vitrola Whisky a Go Go  
 À meia luz o som do Jonhny Rivers, aquele tempo que você sonhou

A E  
 Senti na pele a tua energia, quando peguei de leve a tua mão

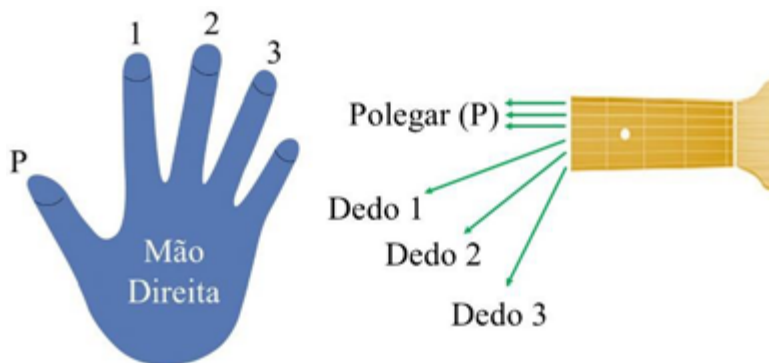
A E  
 A noite inteira passa num segundo, o tempo voa mais do que a canção

B A E  
 Quase no fim da festa, num beijo, então, você se rendeu

B A E B  
 Na minha fantasia, o mundo era você e eu

## Atividade 5: praticando alguns dedilhados simples

A técnica básica de dedilhado no violão é executada a partir de um sistema de numeração da mão direita onde o polegar (P) fica responsável pelo dedilhado dos três bordões (4ª corda D, 5ª corda A e 6ª corda E), enquanto que os dedos 1, 2 e 3, mostrados na figura a seguir, ficam responsáveis, respectivamente, pela 3ª corda G, 2ª corda B e 1ª corda E.



Execute as fórmulas de compasso abaixo apresentadas, utilizando o dedilhado mostrado na segunda coluna do quadro a seguir. O traço horizontal acima dos números indica que as cordas são dedilhadas ao mesmo tempo.

Fórmula de compasso	Dedilhado
	$P \overline{123} \quad P \overline{123}$
	$P \overline{123} \quad \overline{123}$
	$P \overline{123} \quad 1 \quad P \overline{123} \quad 1$ $P \overline{1213121} \quad P \overline{1213121}$
	$P \overline{12321} \quad P \overline{12321}$

Nos capítulos 16 e 17, Schafer trata das competências necessárias a um projetista acústico. Segundo ele, os sons dos grandes centros urbanos diferenciam-se em qualidade e intensidade dos sons dos vilarejos da idade média, ainda mais das primeiras comunidades e mais radicalmente ainda dos naturais antigos. Contrastando com isso, os sons da música e os naturais podem ser similares aos de épocas passadas. Contudo, a proximidade dos sons tecnológicos, sempre perto das pessoas muda o espaço acústico. Uma canção no violão pode ser muito semelhante a que se tocava em épocas passadas, mas a relação figura-fundo mudou consideravelmente. Os sons dos ventos já não são os mesmos em meio às florestas de pedra dos centros urbanos. A evolução da paisagem sonora segue o ritmo da evolução tecnológica, afetando a ecologia acústica. Neste cenário, o ritmo da cidade estabelece a dinâmica própria das paisagens sonoras urbanas e o modo de vida daqueles que nela nascem. No passado o ritmo era bem mais lento, a relação figura-fundo era hi-fi e não havia superlotação de sons. Quanto mais atividade, quanto mais rápido o ritmo, mais sons são produzidos. Tráfego, aviões, ônibus em fileira, obras civis, pedestres, além de bares com música intensa coabitam o ambiente, cujo resultado é o intenso ruído de fundo.

O passo inicial para uma tentativa de mudança talvez seja o de entender que as paisagens sonoras originais eram como música. Na verdade, a música nasce dessa ecologia natural, tendo seus elementos constitutivos se originado do refinamento da relação com os sons naturais. Hoje, há uma distância abissal entre a qualidade das paisagens sonoras e o referente do belo que é a música. As paisagens originais eram calmas, geralmente interrompidas por eventuais ruídos da guerra e, em intervalos curtos, pelos cultos religiosos. Assim também eram as paisagens dos vilarejos. O ruído é um claro sinal de desequilíbrio social, político, econômico. Em geral, as cidades pobres são mais silenciosas do que cidades prósperas. Antes da lógica do capital, o ritmo cotidiano era muito mais ameno. Antes das revoluções termodinâmica e elétrica, trabalho e música comungavam do mesmo ritmo, qual seja, o ritmo das mãos artesãs, sincronizados com a frequência cardiorrespiratória, em equilíbrio com o corpo. O trabalho,

antes da apropriação capitalista, era ato criador e recriador de homem e mundo e, portanto, assim como a música, arte. Contudo, os sons da máquina, do “progresso” mudam drasticamente o ritmo da vida.

Pensa-se, por exemplo, no luthier renascentista que, assim como o artesão, tinha no seu trabalho o ato criador, a materialização da arte que, em sua instância, era fruto de uma ecologia positiva.

É precisamente neste sentido de aprender com o passado, com a análise epistemológica presente na “afinação do mundo”, que o projetista acústico deve, antes de tudo, aprender a ouvir. O primeiro passo é, então, realizar o que Schafer chama de "limpeza de ouvidos". Exercícios criados com o intuito de sensibilizar as pessoas para os problemas do ambiente acústico, respeitar a experiência auditiva como uma importante competência na análise da qualidade das paisagens sonoras. Ensinar ao ouvinte o valor do silêncio.

O projetista acústico deve ter competência para usar equipamentos tecnológicos voltados para a gravação, edição e análise de paisagens sonoras. Só a partir daí, é que estará apto a ser multiplicador das técnicas de análise de paisagens sonoras.

Enquanto educador sonoro, deve promover passeios sonoros, voltados para a sensibilização da audição, bem como para o registro sonográfico, simbólico e semiótico das paisagens, tornando possível a exploração, no sentido positivo, da paisagem sonora de uma determinada área. Ferramentas como mapas sonográficos, diários sonoros, registros interdisciplinares são úteis em trilhas interpretativas nas quais podem ser catalogados sons que chamem a atenção do ouvinte.

O projetista acústico deve ainda valorizar e explorar projetos acústicos positivos que porventura sejam encontrados ao longo dos passeios, bem como projetos acústicos negativos, tais como edificações modernas ruidosas, fruto de projetos arquitetônicos que não levaram em consideração o cuidado com a qualidade sonora de seus interiores. Por fim, convidar à audição de construções que levaram em consideração o equilíbrio de paisagens sonoras, mostrando que há experiências bem sucedidas, assim como ocorre nas grandes composições musicais, que possam servir como ponto de partida para transformar paisagens sonoras desequilibradas e ruidosas.

## **Atividade: ouvindo esculturas sonoras**

Esculturas acústicas são importantes peças de arte que podem realçar a paisagem sonora de um lugar. Um exemplo é a escultura “Singing Ringing Tree” (foto a seguir), localizada em Burnley (Inglaterra). É formada por tubos de aço galvanizado que entram em ressonância com os ventos, formando acordes envolventes.



(Fonte: <https://www.visitlancashire.com/things-to-do/singing-ringing-tree-panopticon-p66560>)

Outra escultura admirável é conhecida mundialmente como o órgão de Zadar, na Croácia (foto a seguir). Consiste de uma enorme construção à beira mar da cidade de Zadar, onde um conjunto de tubos ressoa, perturbado pelo movimento do vento e das ondas.



Fonte:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93rg%C3%A3o\\_do\\_mar#/media/Ficheiro:Sea\\_organ\\_Zadar\\_1.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%93rg%C3%A3o_do_mar#/media/Ficheiro:Sea_organ_Zadar_1.jpg)

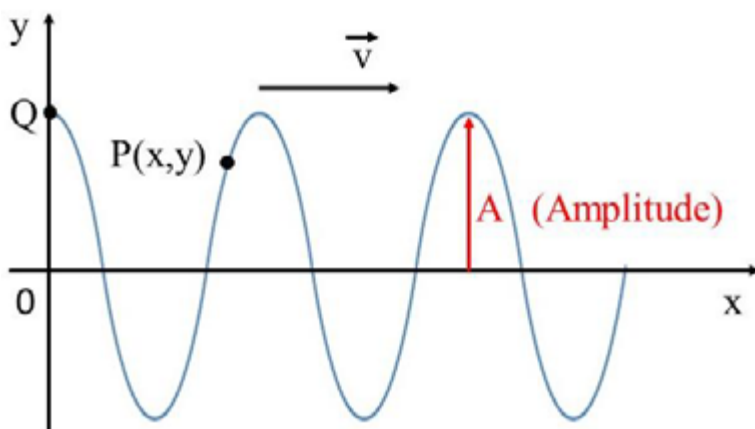
Procure os vídeos na internet, assista-os e, em seguida, faça um comentário sobre a impressão que te causaram.

# AULA 19

## Modos normais de vibração de uma corda e a escala do violão

### Função de onda – ondas progressivas

A figura a seguir mostra uma onda harmônica progressiva se propagando ao longo do eixo  $\vec{0x}$ . A oscilação é gerada por um mecanismo gerador de onda ao longo do eixo  $y$ . Tal onda é chamada de harmônica pois todos os pontos oscilam paralelamente ao eixo  $y$ , na forma de um oscilador harmônico simples, enquanto a onda se propaga na direção de  $x$ .



Observemos que o ponto  $P$  executa movimento harmônico simples, na vertical, defasado em relação ao ponto  $Q$ . Desta forma, a equação horária do seu movimento será:

$$y(x,t) = A \cos[w \cdot (t - \Delta t) + \varphi]$$

onde  $A$  é a amplitude da onda,  $w = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$  a velocidade angular,  $t$  o tempo e  $\varphi_0$  a diferença de fase em relação ao ponto  $Q$ . Sendo

$$w = \frac{2\pi}{T} \quad e \quad \Delta t = \frac{x}{v}$$

teremos:

$$y_{(x,t)} = A \cos \left[ \frac{2\pi}{T} \cdot \left( t - \frac{x}{v} \right) + \varphi \right] \rightarrow$$

$$y_{(x,t)} = A \cos \left( \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{Tv} + \varphi \right)$$

Sendo

$$v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} \rightarrow \lambda = T \cdot v$$

Teremos:

$$y_{(x,t)} = A \cos \left( \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi \right)$$

Sendo  $w = \frac{2\pi}{T}$  a velocidade angular e  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  o número de onda, teremos:

$$y(x, t) = A \cos(wt - kx + \varphi)$$

$$v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T} = \frac{w}{k}$$

Podemos ainda expressar  $y(x, t)$  como uma função de seno, bastando, para tanto, ajustar a fase inicial. A função será:

$$y(x, t) = A \text{sen}(kx - wt)$$

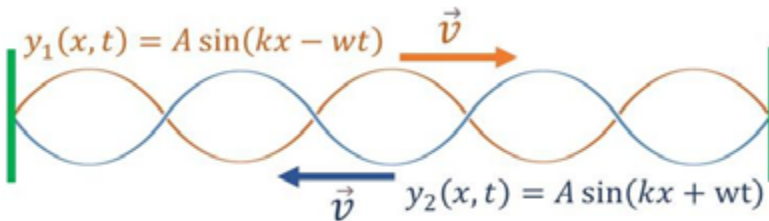
### **Ondas estacionárias em cordas fixas**

Se a corda é fixa nas duas extremidades, a perturbação é refletida nas duas extremidades e num determinado ponto da corda, num determinado instante, terá a superposição das perturbações em sentidos opostos. Se não houver atenuações da amplitude, teremos:



$$\begin{cases} y_1(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \\ e \\ y_2(x, t) = A \sin(kx + \omega t) \end{cases}$$

A figura a seguir ilustra o padrão de superposição de duas ondas de mesma frequência e mesma amplitude numa corda fixa.



A onda resultante será a soma algébrica das ondas  $y_1(x, t)$  e  $y_2(x, t)$ , que também será solução da EDP. Então:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

Logo:

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t)$$

Usando a relação trigonométrica

$$\sin a + \sin b = 2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$$

e sendo

$$y(x, t) = A \left[ \sin\left(\frac{b}{kx - \omega t}\right) + \sin\left(\frac{a}{kx + \omega t}\right) \right]$$

teremos:

$$y(x, t) = 2A \sin(kx) \cos(\omega t)$$

Esta equação descreve o comportamento das ondas estacionárias que se estabelecem numa corda homogênea, fixa em ambas as extremidades, onde  $\sin(kx)$  descreve a variação da amplitude ao longo do eixo  $x$ , enquanto  $\cos(\omega t)$  descreve o movimento oscilatório de qualquer elemento de massa da corda. Assim:

$$y(x, t) = 2A \cdot \overbrace{\sin(kx)}^{\text{Comportamento da amplitude}} \cdot \overbrace{\cos(\omega t)}^{\text{Oscilador harmônico}}$$

i. Para um determinado instante, a corda apresenta a forma de uma senoide, como vemos a seguir.



$$y(x, t) = 2A \overbrace{\sin(kx)}^{\text{Constante}} \overbrace{\cos(\omega t)}^{\text{Constante}}$$

ii. Cada elemento de massa executa movimento harmônico simples.

$$y(x, t) = 2A \overbrace{\sin(kx)}^{\text{Constante}} \cos(\omega t)$$

iii. Se fizermos um filme de qualquer um dos padrões de ondas estacionárias estabelecido na corda e, em seguida, sobrepusermos as imagens, veremos uma imagem semelhante à mostrada na figura a seguir (no caso, o quarto harmônico).



iv. A equação nos mostra que nas posições de amplitude nula (nós), temos:

$$kx_n = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Sendo  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , temos:

$$x_n = \frac{n\lambda}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

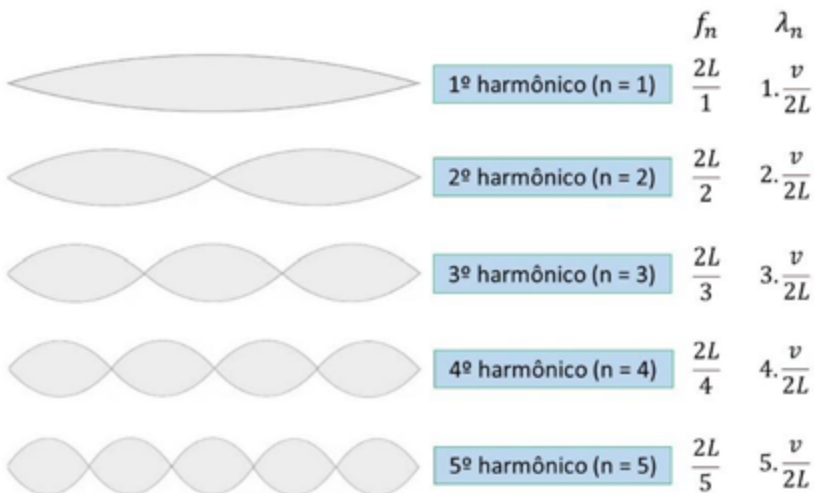
v. A equação nos mostra que nas posições de amplitude máxima (antinodos ou ventres), ou seja,  $2A$ , temos:

$$kx_n = \frac{n\pi}{2}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

A frequências dos modos normais ou naturais de vibração da corda são dadas por:

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

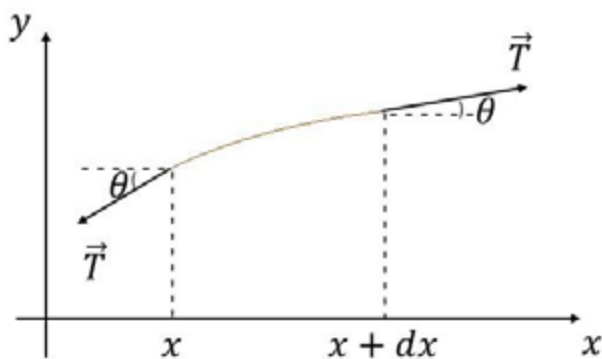
onde  $n$  é o número de ordem do harmônico (modo natural de vibração),  $L$  o comprimento da corda,  $T$  a tensão na corda e  $\mu$  sua densidade linear. A figura a seguir mostra as características dos cinco primeiros modos naturais de vibração da corda.



## Resolução da equação de onda para uma corda fixa

A análise da propagação de ondas em cordas é fundamental para entendermos o funcionamento de vários instrumentos musicais, tais como violino, violão, harpa, piano, etc. Proeminentes físicos e matemáticos, como D'Alembert (1717 – 1783), Euler (1707 – 1783), Daniel Bernoulli (1700 – 1782), dentre outros, participaram de uma contenda, em meados do século XVIII, em torno da solução do problema da corda vibrante, disputa essa que levou a fundamentar as teorias do movimento ondulatório (MONTEIRO JR, 2010), sendo este episódio o primeiro a aplicar as leis de Newton a um corpo extenso. Tal contenda contribuiu tanto para o desenvolvimento da mecânica dos meios contínuos, quanto para o das equações diferenciais, sendo crucial para o estabelecimento da ideia de condições de contorno na modelagem matemática de um fenômeno. A solução para a clássica equação de onda foi apresentada, parcialmente, por Lagrange (1736 – 1813), e, mais conclusivamente, por Fourier (1768 – 1830), matemático e físico francês, quase cinquenta anos depois. Há interessantes análises históricas deste episódio, dentre as quais citaríamos o artigo “The vibrating string controversy” (WHELLER; CRUMMETT, 1987).

Consideremos uma corda de comprimento  $L$  ao longo do eixo  $x$ , com densidade linear de massa  $\mu$ , tensionada e levemente deslocada de sua posição de equilíbrio. A figura a seguir mostra a tensão em um elemento de massa corda, que vai de  $x$  a  $x + dx$ .



O modelo físico é o seguinte:

- i. As vibrações ocorrem em um plano, com coordenadas  $(x, y)$  de modo que  $y(x, t)$  seja a posição da corda no instante  $t$ .
- ii. As vibrações são transversais, ou seja, os elementos de massa da corda deslocam-se apenas na direção do eixo  $y$ .
- iii. A corda é flexível, o que faz com que a corda não ofereça resistência ao ser dobrada. Por isso, a força atuando na corda é sempre tangente à corda, chamada tensão na corda.
- iv. Sendo  $\theta$  é o ângulo entre a tangente à corda e o eixo  $0x$ , para pequenos deslocamentos este ângulo será  $\theta \ll 1$ . Daí, vale a aproximação  $\sin \theta \approx \tan \theta$ . Logo:

a) A componente  $y$  da tensão no ponto  $x + dx$  será  $T \sin \theta \approx T \tan \theta$ . Sendo  $\tan \theta = \frac{\partial y}{\partial x}$ , temos:

$$T = T \frac{\partial y}{\partial x}$$

b) Satisfeita a condição acima de que o movimento da corda é transversal, a componente  $y$  da tensão no ponto  $x$  será análoga à componente  $y$  da tensão no ponto  $x + dx$ , só que na direção contrária. Logo:

$$T = -T \frac{\partial y}{\partial x}$$

c) Usando a segunda lei de Newton, temos que:

$$\vec{F}_R = m \cdot a$$

Sendo a massa do elemento de massa igual a  $\mu \cdot dx$  e a aceleração  $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}$ , temos:

$$T \frac{\partial y}{\partial x}(x + dx, t) - T \frac{\partial y}{\partial x}(x, t) = \mu \cdot dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t) \rightarrow$$

$$\frac{T \frac{\partial y}{\partial x}(x + dx, t) - T \frac{\partial y}{\partial x}(x, t)}{dx} = \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t)$$

Para um elemento de massa infinitesimal, teremos:

$$T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) = \mu \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t)$$

Esta equação é uma equação diferencial parcial (EDP) linear de segunda ordem, e descreve as oscilações da corda elástica para as condições adotadas acima. Nesta EDP:

i. O termo da esquerda representa a força vertical sobre o elemento de massa  $\mu \cdot dx$ .

ii. O termo da direita representa a aceleração vertical sobre o elemento de massa  $\mu \cdot dx$ .

iii. A equação mostra ainda que a aceleração de qualquer elemento de massa da corda é proporcional ao deslocamento deste elemento em relação à posição de equilíbrio. Esta mesma equação pode ser escrita da forma:

$$\frac{\mu}{T} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t) - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) = 0 \quad (I)$$

O sinal negativo indica que a força é restauradora, ou seja, a componente  $y$  da tensão possui direção contrária à direção do deslocamento do elemento de massa em relação à posição de equilíbrio. Daí, toda vez que o elemento de massa se afasta da posição de equilíbrio, o movimento é retardado e toda vez que o elemento de massa se aproxima da posição de equilíbrio, o movimento é acelerado.

Por outro lado, levando em consideração a velocidade e a direção em que a corda está se movendo, podemos concluir que segmentos com concavidade para cima ( $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} > 0$ ) tendem a se moverem para cima, enquanto que segmentos com concavidade para baixo ( $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} < 0$ ) tendem a se moverem para baixo

Uma vez que a equação diferencial geral da onda unidimensional é dada por:

$$\frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t) - \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) = 0 \quad (II)$$

Substituindo (I) em (II), teremos:

$$\frac{1}{v^2} = \frac{\mu}{T} \rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Quando a corda é homogênea ( $\mu_x = \text{constante}$ ) e as vibrações são pequenas ( $\theta_{(x,t)} \sim 0$ ), e, por consequência, ( $\cos \theta_{(x,t)} \sim 1$ ), a tensão ( $T$ ) não varia com o tempo. Temos então que a velocidade de propagação na corda pode ser considerada constante.

A equação das cordas vibrantes foi obtida pelo suíço Euler e pelo francês D'Alembert, por volta do ano 1750. Num curso de Física Matemática são apresentados vários métodos formais para a solução da equação de onda na corda. Aqui iremos mostrar a solução geral obtida por D'Alembert em 1747. Para resolver essa EDP é preciso especificar as condições iniciais e de contorno. Para a corda de comprimento  $L$ , fixa nas duas extremidades ( $x = 0$  e  $x = L$ ), temos:

$$y_{(0,t)} = y_{(L,t)} = 0$$

A relação acima mostra que a corda não está completamente livre. Está fixa em ambas as extremidades  $x = 0$  e  $x = L$ .

Por outro lado, as condições iniciais devem especificar as posições e as velocidades de todos os pontos da corda em  $t = 0$ . Desta forma:

Posição inicial da corda:

$$y(x, 0) = f_0(x), \quad 0 < x < L$$

Velocidade inicial da corda:

$$\frac{\partial y(x, 0)}{\partial t} = f_1(x), \quad 0 < x < L,$$

onde  $f_0(x)$  e  $f_1(x)$  são funções que podemos escolher arbitrariamente. Isso implica que a solução geral da equação de onda numa corda unidimensional depende de duas funções arbitrárias. A solução geral dessa equação de onda unidimensional é a superposição de ondas progressivas propagando-se nos dois sentidos. Em resumo, temos como problemas de valor inicial e de contorno:

a) Função de onda geral:  $c^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(x, t) = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}(x, t), \quad 0 < x < L$

b) Condições de contorno:  $y(0, t) = y(L, t) = 0, \quad 0 < x < L$

c) Posição inicial:  $y(x, 0) = f_0(x), \quad 0 < x < L$

d) Velocidade inicial:  $\frac{\partial y(x, 0)}{\partial t} = f_1(x), \quad 0 < x < L$

Utilizando-se o método de separação de variáveis:

$$Y(x, t) = X(x) \cdot T(t)$$

Essas funções,  $X(x)$  e  $T(t)$  devem satisfazer a equação de onda da corda e suas condições de contorno. Logo:



$$\frac{\ddot{X}}{X} = \frac{1}{c^2} \frac{\ddot{T}}{T} = -\sigma$$

onde  $\sigma$  é uma constante. Uma vez que cada membro é independente, variando  $x$ ,  $t$  permanece constante, e vice-versa. Logo:

$$\begin{cases} \ddot{X} + \sigma X = 0 \\ \ddot{T} + c^2 \sigma T = 0 \end{cases}$$

Os possíveis valores de  $\sigma$  são dados pelas condições de contorno:

$$\text{I. } Y(0, t) = X_{(0)} \cdot T_{(t)} = 0 \rightarrow X(0) = 0$$

$$\text{II. } Y(L, t) = X_{(L)} \cdot T_{(t)} = 0 \rightarrow X(L) = 0, \text{ pois } T(t) \neq 0$$

Chegamos ao seguinte problema: determinação dos valores de  $\sigma$  para os quais:

$$\begin{cases} \ddot{X} + \sigma X = 0, & 0 < x < L \\ X(0) = X(L) = 0 \end{cases}$$

tenha solução  $X(0) \neq 0$ . Existem três possibilidades para  $\sigma$ :

a)  $\sigma > 0$ : a solução geral tem a forma de

$$X(x) = K_1 e^{\sqrt{\sigma}x} + K_2 e^{-\sqrt{\sigma}x}$$

Então o par de constantes  $(K_1, K_2)$  deverá ser solução do sistema:

$$\begin{cases} K_1 + K_2 = 0 \\ K_1 e^{\sqrt{\sigma}x} + K_2 e^{-\sqrt{\sigma}x} = 0 \end{cases}$$

A única solução é  $K_1 = K_2 = 0$ , o que torna  $X \equiv 0$ , o que não nos interessa.

b)  $\sigma = 0$ : a solução é da forma

$$X(x) = K_1x + K_2$$

Logo, pelas condições de contorno, devemos ter:

$$K_2 = 0 \quad e \quad K_1L + K_2 = 0$$

o que implica que  $K_1 = K_2 = 0$ , o que torna  $X \equiv 0$ , o que também não nos interessa.

c)  $\sigma < 0$ : fazendo a troca de variável  $\sigma = -\beta^2$ , a solução é

$$X(x) = K_1 \cos(\beta x) + K_2 \sin(\beta L)$$

tal que  $K_1 = 0$  e  $K_2 \sin(\beta L) = 0$ .

Não queremos  $K_2 = 0$ . Logo  $\sin(\beta L) = 0$ . Então:

$$\beta L = n\pi, \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

Os valores de  $\sigma = -\beta^2$  serão:  $\beta_n^2 = \frac{n^2\pi^2}{L^2}$

são denominados os valores próprios do problema, e as funções

$$X_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

são chamadas funções próprias do problema. Então, para cada  $\sigma_n$ , a solução será:

$$T_n(t) = a_n \cos\left(\frac{n\pi at}{L}\right) + b_n \sin\left(\frac{n\pi at}{L}\right)$$

Onde  $a_n$  e  $b_n$  são constantes arbitrárias.

Como  $Y(x, t) = X(x).T(t)$ , temos que a solução para a equação de onda numa corda fixa é:

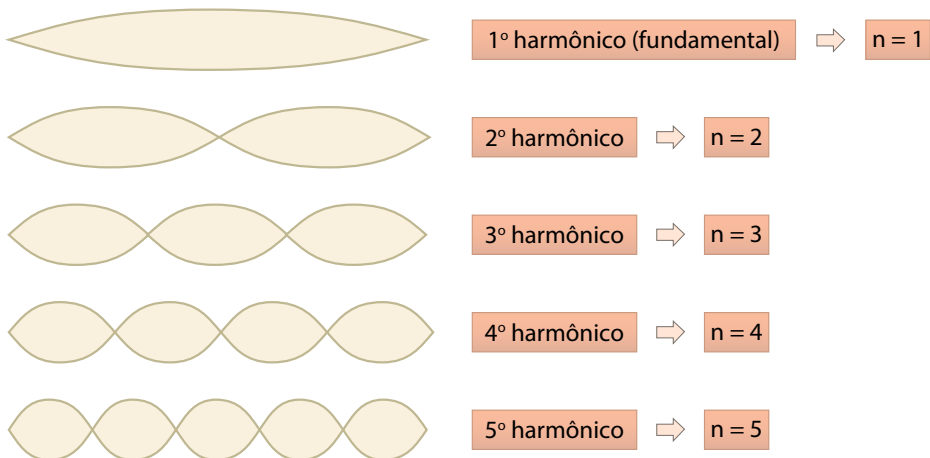
$$Y_n(x, t) = a_n \sin\left(\frac{n\pi ct}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + b_n \cos\left(\frac{n\pi ct}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

Estas funções são chamadas modos normais de vibração e  $\frac{n\pi x}{L}$  são as frequências normais de vibração.

$$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Amplitude} \rightarrow a_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \\ \textit{Período} \rightarrow T_n = \frac{2L}{nc} \\ \textit{Frequência} \rightarrow f_n = \frac{nc}{2L} \end{array} \right.$$

Vê-se que esses parâmetros são dependentes do enésimo harmônico, especialmente a frequência dos modos normais de vibração, sendo múltiplos de sua frequência tônica ( $n = 1$ ).

Quando uma corda elástica, com extremos fixos, vibra, seu movimento será a superposição de vários movimentos individuais, como mostrado na figura a seguir, na qual ilustramos os cinco primeiros modos naturais de oscilação.



Estes fenômenos periódicos envolvendo ondas são bem descritos por funções periódicas. A análise de Fourier (1768 – 1830), matemático francês, nos trouxe ferramentas matemáticas para resolver EDP com condições de contorno periódicas, além de encontrar a solução de ondas complexas geradas por superposição. Uma Série de Fourier é definida como uma expansão de uma função ou representação de uma função em uma série de senos e cossenos, tal como:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos nx + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \operatorname{sen} nx$$

Os coeficientes  $a_n$  e  $b_n$  estão relacionados à função periódica por integrais definidas. Esses coeficientes podem ser construídos para uma grande variedade de funções, incluindo algumas funções descontínuas, desde que tenham um número finito de descontinuidades e valores extremos, máximos e mínimos, no intervalo  $[0, 2\pi]$ .

Os coeficientes são dados por:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx \, dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \operatorname{sen} nx \, dx$$

Dessa forma, a soma infinita das soluções da equação de onda para uma corda fixa também será solução dessa equação, satisfazendo as condições iniciais. Temos então:

$$Y_n(x, t) = \sum_{n=1}^N \left[ a_n \sin \frac{n\pi ct}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} + b_n \cos \frac{n\pi ct}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} \right]$$

Retomando a condição inicial  $y(x, 0) = f_0(x)$ , temos:

$$y(x, 0) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \sin \frac{n\pi c 0}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} + b_n \cos \frac{n\pi c 0}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} \right] \rightarrow$$

$$f_0(x) = y(x, 0) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[ b_n \sin \frac{n\pi x}{L} \right]$$

Retomando a condição inicial  $\frac{\partial y(x,0)}{\partial t} = f_1(x)$ , temos:

$$Y_n(x, t) = \sum_{n=1}^N \left[ a_n \sin \frac{n\pi c t}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} + b_n \cos \frac{n\pi c t}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} \right]$$

$$\frac{\partial Y_n(x, t)}{\partial t} = \sum_{n=1}^N \left[ a_n \frac{n\pi c}{L} \cdot \cos \frac{n\pi c t}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} - b_n \frac{n\pi c}{L} \operatorname{sen} \frac{n\pi c t}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} \right]$$

$$f_1(x) = \frac{\partial Y_n(x, 0)}{\partial t} = \sum_{n=1}^N \left[ a_n \frac{n\pi c}{L} \sin \frac{n\pi x}{L} \right]$$

Os coeficientes  $a_n$  e  $b_n$  são dados por:

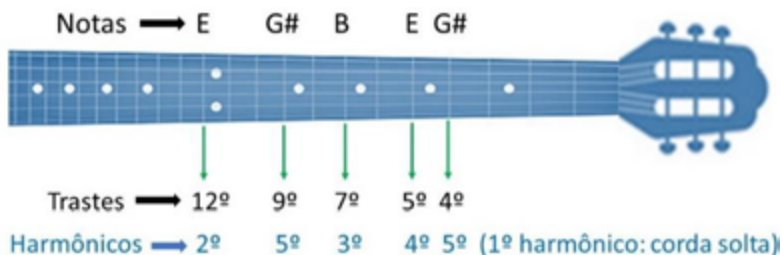
$$a_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$$

$$b_n = \frac{2}{n\pi c} \int_0^L g(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$$

que são os coeficientes da série de Fourier para uma grande variedade de funções.

## Atividade: medindo as frequências naturais de uma corda

Quando tocamos uma corda de violão, um padrão complexo é gerado, composto pelo som fundamental (1º harmônico), sobre o qual repousa a altura da nota, e pelos harmônicos superiores. A figura a seguir mostra a posição dos primeiros harmônicos na 6ª corda E.



1º) Toque a sexta corda (E) solta e meça a sua frequência com o auxílio do aplicativo “gStrings”, instalado no celular ou qualquer outro aplicativo afinador de violão. Preencha o quadro a seguir.

2º) Encoste a ponta de um dedo na corda, na altura do 12º traste, sem pressioná-la contra o traste. Em seguida, toque a corda e meça sua frequência. Repita o procedimento para o 7º, o 5º e o 4º traste. Preencha o quadro a seguir.

Harmônico	Traste	Nota	Frequência	Frequência
			Temperada	Medida
1º	Solta	$E_2$	82,407 Hz	
2º	12º	$E_3$	164,814 Hz	
3º	7º	$B_3$	247,221 Hz	
4º	5º	$E_4$	329,627 Hz	
5º	4º e 9º	$G\#_4$	412,034 Hz	

3º) Compare os valores temperados com os medidos. Comente sobre tal comparação.

4º) O primeiro nó do sexto harmônico, em relação à pestana, se encontra um pouco além do terceiro traste, algo em torno do primeiro terço do tamanho da quarta casa. Tente encontrá-lo e meça a sua frequência. Anote o valor aqui.

Nos capítulos 18 e 19, Raymond Murray Schafer articula conceitos da acústica física e da acústica musical na análise das paisagens sonoras, voltada à construção de projetos acústicos para a melhoria da relação sinal-ruído, em direção a uma relação positiva com o som. Neste cenário, Schafer apresenta o “Jardim sonoro” como um lugar de prazeres acústicos. Pode ser uma paisagem sonora natural ou um lugar planejado a partir dos princípios do projeto acústico. Tal jardim sonoro pode incluir um “Templo de Silêncio”, espaço projetado para meditação, onde se pode construir uma relação positiva como o silêncio como parte da experiência sonora de uma pessoa.

A despeito de quaisquer percepções negativas que as pessoas das grandes e agitadas cidades do mundo moderno possam ter da experiência de ficarem durante certo tempo expostas ao quase silêncio, é preciso uma ação educativa que alerte os alunos para a corresponsabilidade com a qualidade do ambiente sonoro. Todo esse descompasso entre as necessidades do mundo moderno e uma ação de fato significativa pode estar atrelado a uma falta de compromisso da escola com a educação ambiental sonora. Com respeito à escuta pensante, é preciso que a consciência auditiva da população seja ampliada, para que seja capaz de decidir sobre quais sons deseja estimular e quais deseja retirar de suas paisagens sonoras.

O silêncio é um tipo de experiência auditiva quase incomum para a maior parte das pessoas. Vivemos em ambientes quase sempre agitados, onde é quase impossível estabelecer uma relação sinal-ruído favorável, onde a experiência auditiva seja positiva. Na entrada da orelha média, as vibrações do ar são transmitidas para o tímpano. Em contraste, o silêncio, ou seja, a ausência de vibração seria o completo repouso da citada membrana. Entre estes dois extremos, o projetista acústico deve se esforçar para preservar as relações positivas com o som, arranjar a paisagem tendo como norte os prazeres acústicos presentes na música, refinamento da ecologia acústica. Nos moldes de um compositor e arranjador das paisagens sonoras, tomadas como uma grande sinfonia, composta e executada a inúmeras mãos, dar-se-ia a grande transformação em direção à construção de jardins sonoros a embelezar o mundo.

## Atividade: jardim sonoro, silêncio e música

Assim como o sutil jogo entre dissonância/tensão e consonância/resolução confere beleza a uma música, o sutil arranjo entre som e silêncio pode levar a prazeres auditivos, pois parece ser próprio do ser humano não apreciar a mesmice, a experiência sonora monotônica, a melodia inflexível ou a música sem silêncio.

1º) Escute a música “Certas coisas” (LULU SANTOS, 1996) e reflita sobre a letra. Que relações você enxerga com a discussão sobre a importância do silêncio na vida das pessoas?

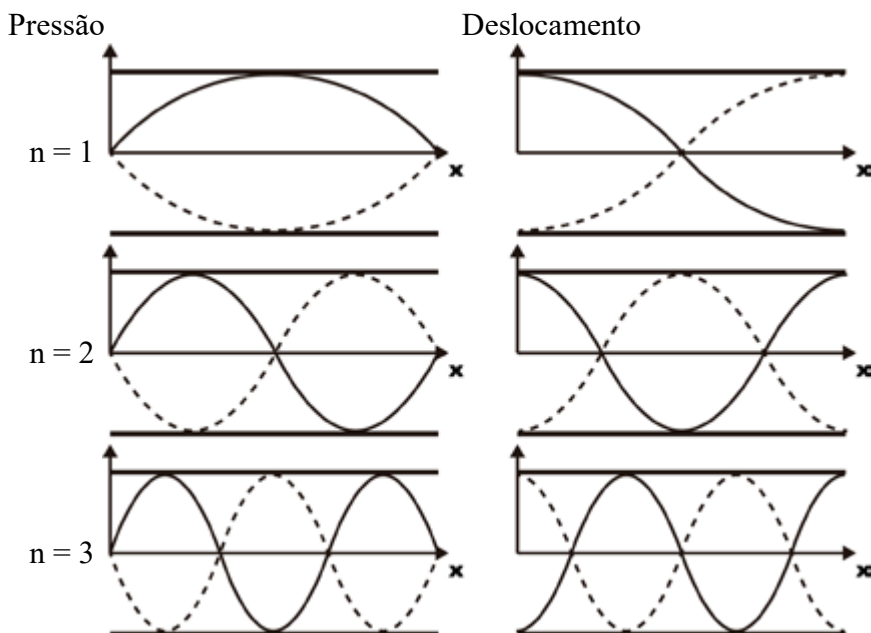
Não existiria som se não houvesse o silêncio.  
Não haveria luz se não fosse a escuridão.  
A vida é mesmo assim, dia e noite, não e sim...  
Cada voz que canta o amor não diz tudo o que quer dizer,  
Tudo o que cala fala mais alto ao coração.  
Silenciosamente eu te falo com paixão.  
Eu te amo calado, como quem ouve uma sinfonia  
de silêncios e de luz.  
Nós somos medo e desejo, somos feitos de silêncio e som.  
Tem certas coisas que eu não sei dizer.

2º) Escute a música “Ladeirinha” de Djavan. De que forma o autor buscou valorizar o silêncio no arranjo desta canção?

Quase à noitinha ela desce a ladeirinha que faz lado com o meu quintal.  
Os seus passos ágeis, livres, trazem o amor ideal.  
Feito de laço, posse, viço, vertical na dor e um sol todo tempo a brilhar.  
Pelos rios, matas virgens desse seu corpo que eu desejo amar.  
O dia é vago quando eu não a flagro a sorrir para mim.  
Posso ver imagens no nada, duendes no edredom.  
E é só dormir pra ouvir em qualquer lugar sirenes no ar, ressaltando você.  
O dia nasce e você já envolta num véu, traz a luz.  
Flores se esgarçam num bailado em busca de atenção.  
Mais nada existe enquanto a vejo passar.  
O que é seu andar, que ventura esse chão.  
Tudo mais é puro alvoroço que a imagem de um colosso provoca dia a dia.



Em tubos sonoros abertos, temos como condição inicial, para o estabelecimento de ondas estacionárias, a de que, em ambas as extremidades, a amplitude de vibração será máxima e a pressão nula. A figura a seguir (MACIEL NETO, 2019) mostra a variação de pressão e a variação do deslocamento no interior de um tubo aberto em seus três primeiros modos normais de vibração.



Os padrões de ressonância ocorrem nas condições:

$$1^{\circ} \text{ harm\^o nico: } L = 1 \lambda/2$$

$$2^{\circ} \text{ harm\^o nico: } L = 2 \lambda/2$$

$$3^{\circ} \text{ harm\^o nico: } L = 3 \lambda/2$$

Podemos generalizar esta s\u00e9rie pela seguinte express\u00e3o:  $L = n \lambda/2$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ , onde  $n$  \u00e9 o modo de resson\u00e2ncia ou n\u00famero de harm\u00f4nico. Podemos escrever a express\u00e3o anterior na forma:

$$\lambda = \frac{2L}{n} \quad (1)$$

Sabendo que  $v = \lambda \cdot f$ , temos:

$$v = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

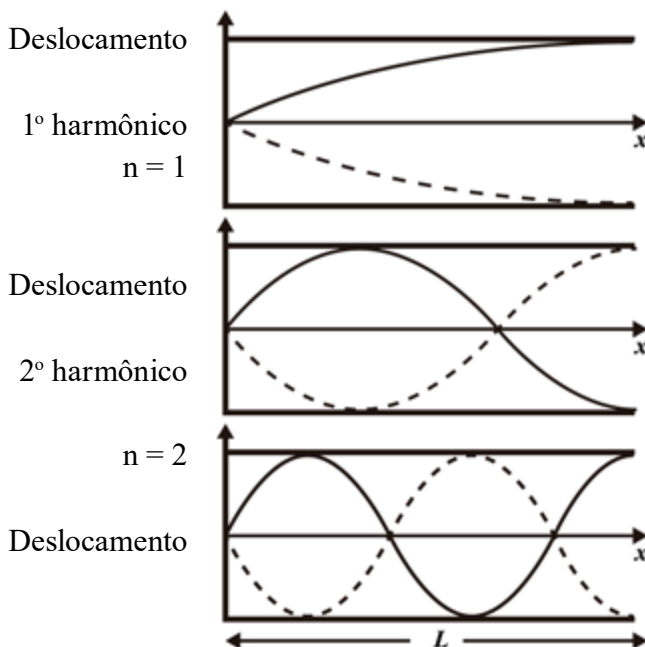
De (1) e (2), vem:

$$\frac{2L}{n} = \frac{v}{f} \rightarrow f = n \cdot \frac{v}{2L}$$

O quadro a seguir mostra os parâmetros físicos para os cinco primeiros modos normais de vibração de um tubo aberto. Tomamos, como exemplo,  $f_0 = 220\text{Hz}$ .

Harmônico $n$	Comprimento de onda $\lambda = 2L/n$	Frequência $f = n \cdot f_0$	Frequência Hz	Nota Musical
1° (n=1)	$\lambda = 2L$	$f_0$	220	$A_3$
2° (n=2)	$\lambda = L$	$2f_0$	440	$A_4$
3° (n=3)	$\lambda = 2L/3$	$3f_0$	660	$E_5$
4° (n=4)	$\lambda = L/2$	$4f_0$	880	$A_5$
5° (n=5)	$\lambda = 2L/5$	$5f_0$	1.100	$C\#_5/Db_5$
6° (n=6)	$\lambda = L/3$	$6f_0$	1.320	$E_6$
7° (n=7)	$\lambda = 2L/7$	$7f_0$	1.540	$G_6$
8° (n=8)	$\lambda = L/4$	$8f_0$	1.760	$A_6$

Em tubos sonoros fechados, temos como condição inicial, para o estabelecimento de ondas estacionárias, a de que, em ambas as extremidades, a amplitude de vibração será nula e a pressão máxima. A figura a seguir (MACIEL NETO, 2019) mostra a variação de pressão e a variação do deslocamento no interior de um tubo aberto em seus três primeiros modos normais de vibração.



Os padrões de ressonância ocorrem nas condições:

$$1^{\circ} \text{ harm\^o nico: } L = 1 \frac{\lambda}{4}$$

$$2^{\circ} \text{ harm\^o nico: } L = 3 \frac{\lambda}{4}$$

$$3^{\circ} \text{ harm\^o nico: } L = 5 \frac{\lambda}{4}$$

Podemos generalizar esta s\u00e9rie pela seguinte express\u00e3o:

$L = n \frac{\lambda}{4}$ ,  $n = 1, 3, 5, \dots$ , onde  $n$  \u00e9 o modo de resson\u00e2ncia ou n\u00famero de harm\u00f4nico. Podemos escrever a express\u00e3o na forma:

$$\lambda = \frac{4L}{n} \quad (1)$$

Sabendo que  $v = \lambda \cdot f$ , temos:

$$v = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{v}{f} \quad (2)$$

De (1) e (2), vem:

$$\frac{4L}{n} = \frac{v}{f} \rightarrow f = n \cdot \frac{v}{4L}$$

O quadro a seguir mostra os parâmetros físicos para os cinco primeiros modos normais de vibração de um tubo aberto. Tomamos, como exemplo,  $f_0 = 110\text{Hz}$ .

Harmônico $n$	Comprimento de onda $\lambda = 4L/n$	Frequência $f = n \cdot f_0$	Frequência Hz	Nota Musical
1° (n=1)	$\lambda = 4L$	$f_0$	110	$A_3$
2° (n=3)	$\lambda = 4L/3$	$3f_0$	330	$E_4$
3° (n=5)	$\lambda = 4L/5$	$5f_0$	550	$C\#_4/Db_4$
4° (n=7)	$\lambda = 4L/7$	$7f_0$	770	$G_5$
5° (n=9)	$\lambda = 4L/9$	$9f_0$	990	$B_5$
6° (n=11)	$\lambda = 4L/11$	$11f_0$	1.210	$D\#_5/Eb_5$
7° (n=13)	$\lambda = 4L/13$	$13f_0$	1.430	$F\#_6/Gb_6$
8° (n=15)	$\lambda = 4L/15$	$15f_0$	1.650	$G\#_6/Ab_6$

O comprimento de onda e a frequência de cada harmônico estão em função, respectivamente, do comprimento  $L$  do tubo e da frequência  $f_0$  do primeiro harmônico, também chamado harmônico fundamental. No caso do tubo fechado, apenas os harmônicos ímpares formam ondas estacionárias, uma vez que na extremidade fechada haverá sempre um nó. Em ambas os quadros, a quarta coluna mostra, como exemplo, os valores, em hertz, das frequências dos oito harmônicos. Se o tubo aberto reproduz, em seu modo fundamental, a nota A ( $A_3 = 220\text{Hz}$ ), no tubo fechado de mesmo comprimento, a nota do modo fundamental será a nota A ( $A_2 = 110\text{Hz}$ ).

Observe que aqui estamos preocupados apenas com as frequências destes componentes, sem, no entanto, considerar suas respectivas amplitudes. Juntos, estes dois parâmetros constituem-se nos mais importantes para a determinação do timbre de uma fonte sonora e, em particular, de um instrumento musical. A representação da série harmônica, considerando as frequências e amplitudes, ficaria mais bem compreendida fazendo-se uso de gráficos analisadores de espectro.

Comparando os dois quadros, podemos observar que a nota musical do modo fundamental de um tubo fechado encontra-se uma oitava abaixo da nota do fundamental de um tubo aberto de mesmo comprimento. Em outras palavras, quando fechamos um tubo, a frequência do modo fundamental cai para a metade.

Por outro lado, enquanto no tubo aberto há modos pares e ímpares, no tubo fechado só há modos ímpares. Uma consequência disso é que, no tubo aberto, a série harmônica só completa as notas que compõem o acorde maior nos seis primeiros harmônicos. No caso do nosso exemplo, a tônica (A), a terça maior (C#) e a quinta justa (E), enquanto que no tubo fechado, tais notas aparecem logo nos três primeiros modos normais de vibração.

Assim como as cordas, os tubos sonoros constituem-se numa das principais fontes sonoras dos instrumentos musicais. Desde os mais simples, como as flautas andinas, aos mais complexos como os instrumentos de sopro de madeira ou metal, os princípios aqui expostos estão presentes, consistindo num ponto de partida para a análise física de cada um deles. Na atividade que se segue, analisaremos as frequências ressonantes de um tubo cilíndrico.

## Atividade: medindo as frequências ressonantes de um tubo

De posse de um tubo de PVC de 40mm e de um aplicativo gerador de frequência instalado num smartphone, determine auditivamente as frequências ressonantes para os primeiros quatro modos normais de vibração de um tubo aberto.

1º) Abra o “Frequency Generator”. Posicione a saída de som do smartphone próxima a uma das extremidades do tubo de 40mm. Iniciando numa frequência próxima de 20 Hz, vá elevando o valor da frequência até que você encontre a posição de ressonância, percebida auditivamente pelo aumento da intensidade. Repita este procedimento para medir os quatro primeiros harmônicos do tubo. Anote os valores medidos na segunda coluna do quadro a seguir.

2º) Considerando a velocidade do som no ar como sendo  $v=340\text{m/s}$ , calcule o comprimento do tubo para cada uma das frequências medidas, utilizando a relação  $L = \frac{2f}{nv}$ . Preencha a terceira coluna do quadro a seguir.

3º) Preencha a quarta coluna do quadro a seguir com a nota musical que mais se aproxima da frequência medida (coluna dois do citado quadro).

Harmônico	Frequência (Hz)	Comprimento do tubo (m)	Nota Musical
1º (n=1)			
2º (n=2)			
3º (n=3)			
4º (n=4)			

4º) Faça um comentário sobre os valores medidos para o comprimento do tubo, bem como a respeito das notas musicais identificadas por aproximação.

A zampoña (MONTEIRO JÚNIOR; ALBARRACÍN, 2011) é um instrumento de sopro de origem inca e que se tornou muito conhecido nos países que se situam na região dos Andes, principalmente Peru, Equador e Chile. Nos últimos tempos, tornou-se comum encontrar em feiras de artesanato e praças públicas dos centros urbanos de algumas das grandes metrópoles brasileiras versões de tais instrumentos, principalmente por conta da imigração de bolivianos e peruanos. A versão mais comum deste instrumento é composta por dois conjuntos de tubos de bambu, dispostos lado a lado e amarrados com cordões, conforme figura a seguir. Cada um dos conjuntos de tubos alcança uma extensão de uma oitava. O conjunto de tubos maior é composto de oito tubos e é chamado de 'Arca'. O outro conjunto é formado por 7 tubos e é chamado de 'Ira'. Contudo, atualmente, podemos encontrar diversas versões alternativas deste instrumento, com números de tubos e tessituras diferentes.



Fonte: [user.dankook.ac.kr/~aainst/pds/01-peru.doc](http://user.dankook.ac.kr/~aainst/pds/01-peru.doc)

Atualmente, a maioria das zampoñas possui uma escala diatônica e são realmente poucas as que conservam a escala pentatônica pré-colombiana. Porém, nem sempre seu uso é diatônico e é frequente escutar melodias pentatônicas nelas. Aqui é interessante ressaltar o quanto este instrumento se tornou mais popular do que a cultura da qual se originou. Muitos dos grupos de música de imigrantes peruanos e bolivianos que residem no Brasil se apresentam em praças públicas e comercializam CDs com músicas de outros países em versões instrumentais cujo instrumento solo é a zampoña, ao invés de divulgarem músicas de suas origens. Para tocar o instrumento, o executante encosta o lábio inferior na extremidade superior do tubo (extremidade aberta do tubo) e sopra tangencialmente a esta abertura. É interessante registrar que mesmo com pequenos exemplares artesanais, com um pouco de treino, é possível tocar algumas melodias simples como atividades para serem executadas por estudantes, como forma de interação em sala de aula. É possível ainda registrar a curva de timbre de instrumentos diferentes num software osciloscópio. Para tanto, existem diversas versões freeware disponíveis na web.

As duas principais características do “Siku” ou “Zampoña” são o diálogo musical e o uso orquestral e coreográfico que tem suas origens nas culturas Moche e Nasca (300 a.c. 600 d.c.), culturas pré-incas da costa do Perú, que depois se estenderam à Bolívia, Equador e Colômbia. Havia nessa cultura pré-inca conjuntos de sikuris similares aos atuais, ou seja, havia grupos musicais coreográficos que interpretavam de modo orquestral as “antaras de cerâmica”, enquanto dançavam.

O diálogo musical pode ter se originado quando os músicos solistas se reuniam para tocar flautas de pan em grupo. Tal prática surgiu pela lei do mínimo esforço, quando os músicos se alternavam para interpretar as melodias, necessitando apenas de execuções em pares.

Com base nos argumentos discutidos acima, podemos propor a confecção de um siku artesanal, consistindo numa boa oportunidade de refletir sobre a teoria física subjacente ao estudo dos tubos sonoros, modos normais de vibração de um tubo sonoro e a construção de instrumentos musicais de sopro.



## Atividade: construindo uma flauta andina

O instrumento musical aqui analisado é formado por tubos abertos. Neste caso, as ondas estacionárias que se estabelecem obedecem a um padrão no qual qualquer harmônico tem um comprimento de onda que é um múltiplo da metade do comprimento do tubo. Assim, as frequências dos harmônicos que se estabelecerão no tubo estarão de acordo com a relação.

$$f_n = \frac{n \cdot v}{2L} \rightarrow \text{Sendo } v = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{2L}{n}$$

Onde  $f_n$  é a frequência do  $n$ ésimo harmônico, “v” é a velocidade do som no ar, e “L” o comprimento do tubo. Desta forma, o primeiro harmônico terá um comprimento de onda ‘ $\lambda$ ’ que será o dobro do comprimento do tubo. O segundo harmônico terá um comprimento de onda ‘ $\lambda$ ’ que será igual ao comprimento tubo, o terceiro à metade de tal comprimento e assim por diante. Podemos construir um instrumento com 13 tubos, dispondo-os em duas fileiras, sendo a primeira composta por oito tubos (escala maior) e a segunda pelos cinco tubos restantes, conforme mostrado no quadro a seguir.

Para a construção desta flauta, utilize tubos de papelão ou plástico com diâmetro em torno de 1,0 cm. Partindo do tubo de maior comprimento (nota mais grave), podemos calcular os comprimentos dos 12 tubos subsequentes, numa progressão geométrica de razão  $\sqrt[12]{2} = 1,059$ . Podemos escolher o comprimento do maior tubo (menor frequência) para que seja reproduzido o ‘dó’ de 256 Hz no modo fundamental. Tomando a velocidade de propagação do som no ar igual a 344 m/s, temos que:

$$v = \lambda \cdot f \rightarrow 344 = 256 \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 1,34375 \text{ metros}$$

Para o primeiro harmônico, temos que:

$$\lambda = 2 \cdot L \rightarrow L = \frac{\lambda}{2} \rightarrow L = \frac{1,34375}{2} = L = 0,671875 \text{ m}$$

Nota	Termos da P.G. $L_n = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^{(n-1)}$	Comprimento do tubo em metros	
		1ª fileira	2ª fileira
C	$L_0 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^0$	0,672	
C#/Db	$L_1 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^1$		0,634
D	$L_2 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^2$	0,599	
D#/Eb	$L_3 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^3$		0,565
E	$L_4 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^4$	0,533	
F	$L_5 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^5$	0,503	
F#/Gb	$L_6 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^6$		0,475
G	$L_7 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^7$	0,448	
G#/Ab	$L_8 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^8$		0,423
A	$L_9 = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^9$	0,399	
A#/Bb	$L_{10} = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^{10}$		0,377
B	$L_{11} = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^{11}$	0,356	
C	$L_{12} = 0,671875/(\sqrt[12]{2})^{12}$	0,336	

# AULA

# 23

## Os lamelofones

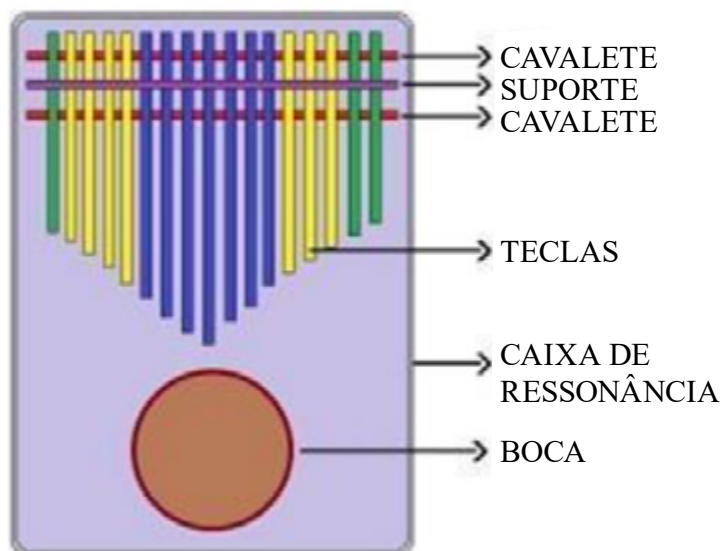
A kalimba (MORAES, 2022) consiste em um conjunto de lâminas (também chamadas teclas) fixado no tampo superior de uma caixa de ressonância com um ou mais orifícios, cuja função é a de otimizar a propagação do som produzido pela vibração das lâminas e amplificado pela caixa de ressonância. Os lamelofones são geralmente construídos sobre uma base de madeira. Em alguns casos, essa base pode ser a própria caixa de ressonância do instrumento. Há diversos tipos de lamelofones, desde aqueles construídos em cima de tábuas, até os mais sofisticados, com os quais é possível executar melodias quando devidamente afinados.

Para aumentar o volume/intensidade do som, o lamelofone é acoplado dentro ou sobre um corpo ressoador, que tem a mesma função da caixa de um violão ou violino ou ainda de um piano, amplificando o som. Por meio de dois cavaletes, a vibração das lâminas, produzidas pelo dedo do executante, se propaga para a caixa, onde ganha intensidade, permitindo que uma melodia seja escutada por outras pessoas, assim como ocorre com outros instrumentos musicais acústicos.

A kalimba pertence à família dos lamelofones e, apesar de ser de origem africana, propagou-se pelo mundo, chegando, inclusive, ao Brasil no século XVIII, vindo juntamente com os africanos. Hoje é possível adquirir esse instrumento na internet com preço acessível, inclusive em diversos tamanhos e versões. Na figura a seguir apresentamos um modelo comumente encontrado no mercado brasileiro.



Há uma vasta quantidade de vídeos na internet ensinando a tocar, bem como de execução de melodias de músicas famosas. Há até vídeos de executantes já bastante avançados, exibindo impressionantes técnicas de solo. Além de ser um instrumento de fácil transporte, consiste em um excelente exercício de aprendizado das bases da harmonia e melodia, além de ser prazeroso. A figura a seguir mostra detalhes da construção deste fascinante instrumento.



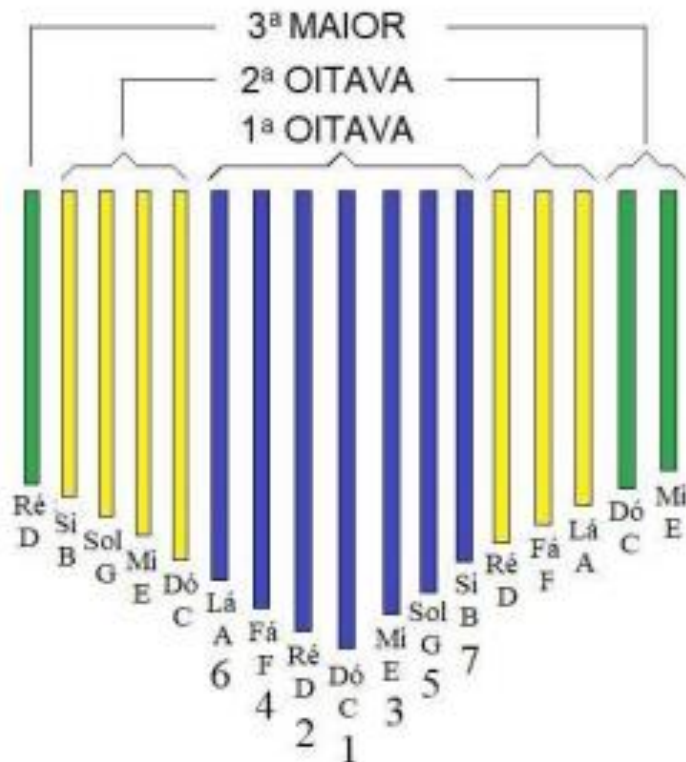
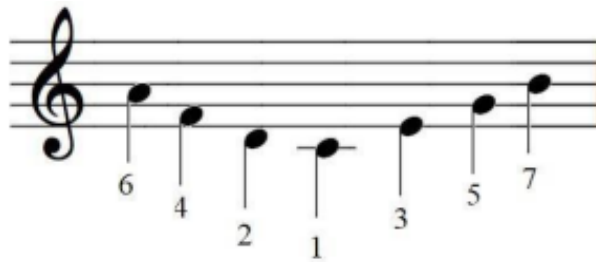
### **Afinação da kalimba**

As lâminas precisam ter tamanhos úteis adequadamente diferentes para reproduzirem todas as notas da escala diatônica maior, e são postas em cima dos dois cavaletes e pressionadas contra eles pelo travessão, o qual, por sua vez, consiste numa barra de metal que é aparafusada no tampo superior da caixa de ressonância. Por meio do aperto desses parafusos, ajustamos a pressão de fixação das lâminas. Essa barra transversal de metal é colocada entre os dois cavaletes e acima das lâminas, possuindo a função de pressionar a parte final das lâminas, bem como a função de ajuste do comprimento útil, tamanho adequado para produzir a frequência de vibração da nota musical a ela destinada.

Podemos observar que são dois cavaletes abaixo das lâminas e um suporte acima delas e entre os dois, permitindo, assim, a fixação de uma extremidade de cada lâmina, minimizando, portanto, qualquer possibilidade de desafinar o instrumento durante uma execução. É importante que se diga que a afinação encontrada nas primeiras kalimbas não era ocidental. Dentre quintas justas que eram encontradas, havia outros intervalos que não se encaixavam nos padrões de intervalos próprios da música ocidental, ainda em evolução e que viria a culminar no estabelecimento da escala de 12 semitons igualmente temperados, discutida na aula 15. Com o passar do tempo, estas notas musicais foram sendo substituídas pelas notas das escalas ocidentais. Contudo, o que temos hoje de mais comum é a afinação da escala maior, derivada da escala de 12 semitons igualmente temperados. Os lamelofones com escalas cromáticas são recentes e ainda muito pouco difundidos, muito embora a escala mais utilizada para a afinação da kalimba seja esta.

### **Ajustando o tamanho útil de cada lâmina**

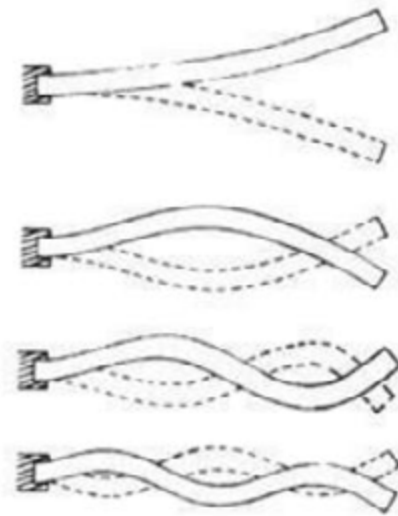
As lâminas são arranjadas alternadamente, dispondo a lâmina da nota mais grave no centro e, a partir daí, as subseqüentes da escala são colocadas, alternadamente, à esquerda e à direita, e daí por diante, até chegar às notas mais agudas, nos extremos esquerdo e direito. O tamanho útil é aquela parcela da lâmina que está livre para vibrar, ou seja, o comprimento medido da extremidade livre até o ponto de apoio em cima do segundo cavalete, aquele que está mais próximo da boca do instrumento. Folgando o travessão, ajustamos o tamanho útil de cada lâmina para reproduzir exatamente a frequência da nota musical de cada uma delas e, feito isso, reapertamos os parafusos para fixação das lâminas. As figuras a seguir ilustram, respectivamente, a disposição, na pauta da clave de sol, para a primeira oitava, da nota mais baixa, no meio (1), para a nota mais alta no final (7) e a nota de cada uma das lâminas para a afinação mais comum da kalimba.



### Matemática e música no contexto da afinação da kalimba

E como desenvolvemos as técnicas de execução desse fascinante instrumento?

Sabemos que quando uma lâmina, presa em uma das extremidades é posta para vibrar, ela vibra em frequências que dependem, fundamentalmente, da sua elasticidade e comprimento. A figura a seguir (ROSSING; MOORE; WHEELER, 2014) ilustra os quatro primeiros modos de vibração da barra.



A relação matemática que descreve os modos naturais de vibração da lâmina em seu primeiro modo de vibração, tomando a condição de que ela está presa numa das extremidades, como no caso da kalimba, é dada por:

$$f_n = \frac{\pi K}{8L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Partindo dessa relação matemática e tomando a variação da frequência em função do comprimento da lâmina, considerando, para tanto, todo o resto constante, podemos observar que a frequência do modo fundamental (primeiro modo mostrado na figura anterior) varia com o inverso do quadrado do comprimento da lâmina, ou seja:

$$f_1 \sim \frac{1}{L^2}$$

Isso significa dizer que a frequência de uma lâmina alcança a oitava ( $f_2 = 2 \cdot f_1$ ) quando:

$$f_2 = 2 \cdot f_1 \rightarrow \frac{f_2}{f_1} = 2 \rightarrow \frac{\frac{\pi K}{8L_2^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\frac{\pi K}{8L_1^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}} = 2$$

$$\frac{\frac{1}{L_2^2}}{\frac{1}{L_1^2}} = 2 \rightarrow \frac{L_1^2}{L_2^2} = 2 \rightarrow L_1 = \sqrt{2}L_2$$

Da relação acima descrita, podemos concluir que quando a lâmina vibra com a metade de seu comprimento inicial, ou seja,  $L_2 = \frac{L_1}{2}$ , sua frequência será:

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \rightarrow L_2^2 = \frac{L_1^2}{4} \rightarrow \frac{\pi K}{8f_2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}{4}$$

$$\frac{\frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\frac{\pi K}{8f_2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}} = 4 \rightarrow \frac{\frac{1}{f_1}}{\frac{1}{f_2}} = 4 \rightarrow f_2 = 4f_1$$

Daí podemos concluir que quando a lâmina é posta para vibrar com a metade do seu comprimento inicial, sua frequência será quatro vezes maior, ou seja, duas oitavas. Se voltarmos a observar a figura, veremos que o comprimento útil da lâmina do Dó agudo da segunda oitava tem a metade do comprimento útil da lâmina do primeiro Dó, o de frequência mais grave, que é o da lâmina central. É preciso deixar claro que a kalimba é afinada na escala diatônica maior, reproduzindo as notas das teclas brancas do piano.



## Atividade 1: frequências naturais de vibração de instrumentos

1º) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, quais sejam, a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? A que se deve tal diferença?



GUITARRA



CONTRA BAIXO

2º) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso Maracatu: a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por esses instrumentos? A que se deve tal diferença?

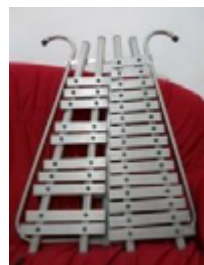
3º) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais: a Lira. A Lira é feita de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?



TAROL



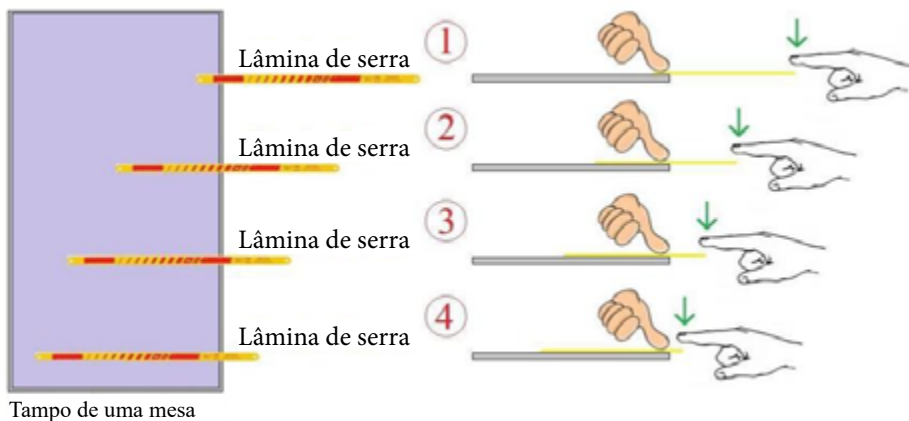
ALFAIA



LIRA

## Atividade 2: analisando as vibrações em hastes

Nesta atividade, iremos observar como se comporta uma lâmina de serra, posta para vibrar na borda do tampo de uma mesa. De posse da lâmina de serra, disponha-a sobre a borda do tampo, conforme mostra a figura abaixo.



1º) Prenda a lâmina com o polegar, deixando-a quase toda fora do tampo, conforme mostra a situação (1) da figura anterior. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

2º) Repita o procedimento anterior, agora com a metade do seu comprimento fora do tampo (situação 2). Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

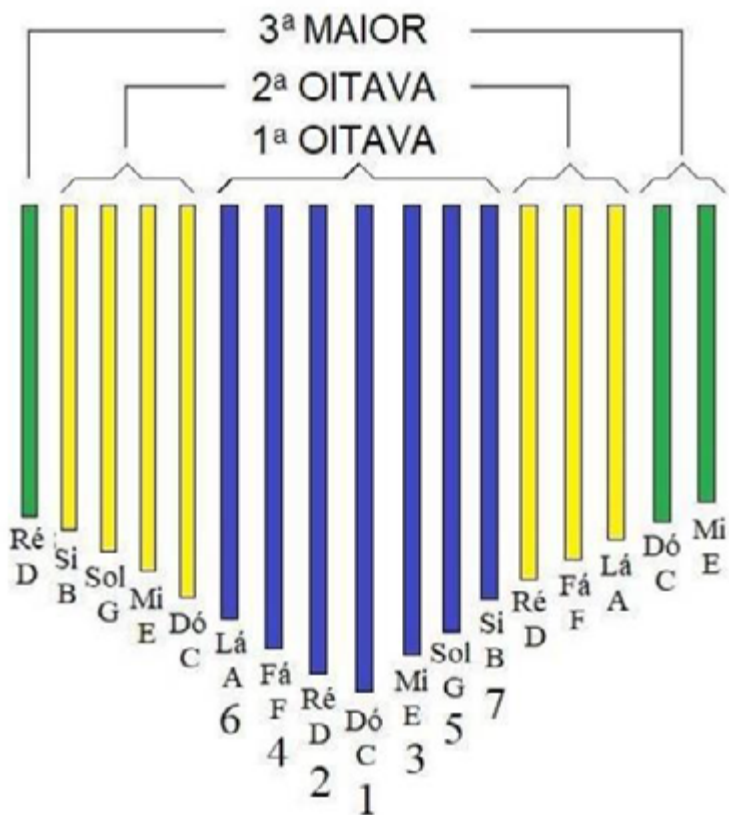
3º) Repita o procedimento anterior, agora com um quarto do seu comprimento fora do tampo (situação 3). Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

4º) Repita o procedimento anterior, agora com um oitavo do seu comprimento fora do tampo (situação 4) da figura anterior. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

**Conclusões:** O que vocês concluíram a respeito da frequência de oscilação da lâmina e sobre a emissão de som?

### Atividade 3: medindo os comprimentos úteis das hastes

Nesta atividade, iremos analisar a kalimba de 17 teclas, afinadas conforme mostra a figura a seguir. Cada uma dessas lâminas possui um comprimento útil adequado para produzir a frequência correta e, conseqüentemente, a nota musical correta. Para tanto, elas precisam, a partir da lâmina mais comprida (Dó mais grave), diminuir na razão inversa com que as frequências aumentam.



1º) Meça, com o auxílio de uma régua, o comprimento útil de cada uma das 17 lâminas da kalimba, anotando os valores no quadro a seguir. Comece pela lâmina 1 (C), depois a lâmina 2 (D), a lâmina 3 (E), a lâmina 4 (F) e daí por diante, até chegar na décima sétima lâmina.

2º) Após o registro dos comprimentos das 17 lâminas no quadro a seguir, calcule os valores, tomando por base o valor medido para a lâmina de maior comprimento (Dó), dos comprimentos das outras 16 lâminas, que são os comprimentos corretos, para que ela esteja afinada, utilizando, para tanto, a razão  $\sqrt[12]{2} = 1,059$ . Preencha o quadro a seguir.

Nota Musical	Comprimento Medido (mm)	Comprimento Calculado (mm)	Erro (%)
C			
D			
E			
F			
G			
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			
A			
B			
C			
D			
E			

3º) Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que você pode concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?

# AULA 24

## Os instrumentos musicais enquanto acrescentamentos culturais

Em geral, cada harmônico de um som é representado por uma função de seno ou cosseno com coeficiente ‘n’ inteiro que indica o número do harmônico, o qual possui sua frequência e amplitude características. O primeiro harmônico da série é chamado de fundamental, o qual determina a frequência e a altura da nota musical. Assim, quando nos referimos a uma nota musical emitida, por exemplo, por um violão, cuja frequência seja de 440 Hz, devemos entender que esta frequência é a frequência do modo fundamental, do primeiro harmônico. Quando tocamos, por exemplo, a corda de um violão, ela vibra fundamentalmente em toda a sua extensão, produzindo um harmônico fundamental cujo comprimento de onda é igual ao dobro do comprimento da corda. Contudo, vibra, ao mesmo tempo, no segundo modo normal, no terceiro, e assim sucessivamente, com frequências que são, respectivamente, iguais a  $2f$ ,  $3f$  e, assim, sucessivamente, onde  $f$  é a frequência do modo fundamental. Este conjunto de parciais compõe a série harmônica da corda do violão. Por exemplo, se tocamos a 6ª corda do violão solta, tangendo-a próximo ao rastilho, a maior parte dos harmônicos será exibida. Sendo seu comprimento ‘ $l$ ’, o comprimento de onda ‘ $\lambda$ ’ e a frequência de vibração ‘ $f$ ’, os seis primeiros parciais de sua série harmônica serão:

Harmônico	Componente de Fourier	f (Hz)	Nota	Intervalo
1º	$b_1 \cdot \sin(wt)$	82,407	$E_2$	Unísono
2º	$b_1 \cdot \sin(2wt)$	164,814	$E_3$	Oitava
3º	$b_1 \cdot \sin(3wt)$	247,221	$B_3$	Quinta justa
4º	$b_1 \cdot \sin(4wt)$	329,627	$E_4$	Oitava
5º	$b_1 \cdot \sin(5wt)$	412,034	$G\#_4$	Terça maior
6º	$b_1 \cdot \sin(6wt)$	494,441	$B_4$	Quinta justa

## Atividade: os modos naturais e as frequências temperadas

1º) Meça, com o auxílio do “gStrings”, as frequências naturais dos cinco primeiros harmônicos da 6ª corda Mi de um violão ( $f_1, f_2, f_3, f_4$  e  $f_5$ ). Para o primeiro harmônico, faça a corda vibrar livremente. Para o segundo harmônico, encoste o dedo na corda, na altura do décimo segundo traste, e toque a corda. Para o terceiro harmônico, encoste o dedo na corda, na altura do sétimo traste, e toque a corda. Para o quarto harmônico, encoste o dedo na corda, na altura do quinto traste, e toque a corda. Para o quinto harmônico, encoste o dedo na corda, na altura do quarto traste, e toque a corda. Preencha a quarta coluna do quadro a seguir.

Harmônico	Nota	Frequência temperada (Hz)	Frequência natural (Hz)
$f_1$	$E_2$	82,407	
$f_2$	$E_3$	164,814	
$f_3$	$B_3$	247,221	
$f_4$	$E_4$	329,627	
$f_5$	$G\#_4$	412,034	

2º) Compare os valores das frequências temperadas, calculados por meio da progressão geométrica estudada na aula 15, com os valores das frequências naturais, medidas com o auxílio do aplicativo para smartphone. A que conclusões se pode chegar?

3º) Que relação a comparação entre os valores das frequências temperadas e os valores das frequências naturais guarda com o comportamento natural de uma corda e a construção cultural da escala de 12 semitons igualmente temperados? Construa uma análise a partir do conceito de cultura enquanto acrescentamento que o homem faz (cultura) àquilo que ele não fez (natureza).

O diálogo entre música e meio ambiente (FONTERRADA, 2004) aponta para a música como sendo a paisagem sonora antropônica mais perfeita, carregando traços que a aproximam da perspectiva ecológica de Capra (2006), tais como colaboração, riqueza, diversidade, qualidade de vida, dentre outros. Assim como a vida humana e todas as outras têm seus valores intrínsecos e de forma independente dos propósitos humanos, também é inalienável o direito de ser e não apenas estar no mundo. É, portanto, igualmente inalienável o direito ao desenvolvimento da escuta pensante e o direito à convivência em ambientes sonoros mais saudáveis.

A música, então, torna-se o referente do belo, a composição que nos ensina como devemos nos portar enquanto compositores desta grande orquestra, que é a paisagem sonora mundial. Uma sinfonia de muito ruído, sons e pouco silêncio, feita a inúmeras mãos, fruto de sociedades imperfeitas. Dissonâncias do reducionismo do direito à riqueza e à diversidade da vida, e, porque não dizer, à riqueza e diversidade de sons e momentos de silêncio, característicos das paisagens saudáveis. Como diz Lulu Santos (1996), “não existiria som se não houvesse o silêncio”, os quais se arranjam nas músicas e ciclos que mexem com nossos sentimentos, na medida em que somos “feitos de silêncio e som”. O sutil jogo entre dissonância/tensão e consonância/resolução confere beleza à música e mexe com estatutos da percepção humana. É nesta perspectiva de tomar a música como paisagem sonora de referência que entendemos que seu ensino deve ser não apenas enquanto linguagem, voltado para a leitura e interpretação de obras, mas também como meio de desenvolver nas pessoas, além dos prazeres auditivos, uma reflexão do porquê da música possuir este poder.

1º) Assista o vídeo “Educação Sonora” e analise sua mensagem. ([https://drive.google.com/file/d/1DlhDhGPw3gczrrJgzryHshoMID6YIMBz/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1DlhDhGPw3gczrrJgzryHshoMID6YIMBz/view?usp=share_link)).

2º) Faça um passeio no ‘site’ “The World Soundscape Project” (<https://www.sfu.ca/~truax/wsp.html>). Escute algumas composições de paisagens sonoras e faça um comentário sobre a escuta.

Na presente atividade, os alunos, divididos em grupos, irão compor, cada grupo, um teatro sonoro, a ser apresentado para os demais alunos da turma. O teatro sonoro consiste na contação de uma história por meio de sons, ruídos e silêncio. No arranjo das cenas podem ser usados sons antropofônicos, biofônicos e/ou geofônicos. Há liberdade na construção de tais teatros, respeitando autonomia e criatividade. Contudo, as seguintes recomendações são necessárias:

1º) É permitido o uso ocasional de onomatopeias, mas não de diálogos ou palavras.

2º) A história deve ser curta e rica em sons, bem distribuídos ao longo das cenas.

3º) A encenação será realizada atrás de um anteparo preparado para esse fim. Desta forma, os espectadores auditivos só escutarão a história.

4º) Podem ser usados sons de instrumentos musicais para enriquecer a história, tanto como figura, quanto fundo.

5º) É interessante jogar com a dinâmica da intensidade sonora, convidando o ouvinte a exercitar a percepção da profundidade.

6º) A avaliação da qualidade dos teatros será por meio da percepção construída pelos ouvintes, os quais serão convidados a falarem sobre a história contada por cada teatro.

7º) É recomendável o uso de sons criados com corpos sonoros, muito embora não seja proibido o uso de sons sintetizados em softwares sintetizadores de áudio.

8º) As cenas precisam ser planejadas para uma divisão do tempo que possa contemplar a dinâmica espaço-temporal da paisagem.



O que é onomatopeia? O dicionário brasileiro da língua portuguesa explica: “Formação de uma palavra pela reprodução, tanto quanto possível, do som natural ou ruído a ela relacionado” e “...a palavra que pretende imitar certos sons e ruídos, como, por exemplo: atchim, miau, pum, etc.”. Tendo a etimologia do grego, o termo “onomatopeia” (onomatopoiía) é formado pelos vocábulos “onoma” (nome) e “poiein” (fazer”), que significa “criar ou fazer um nome”. A figura a seguir ilustra alguns exemplos de onomatopeias comumente utilizadas em histórias em quadrinhos.



Fonte: FERNANDES, M. Onomatopeia: o que é e exemplos. Toda Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/onomatopeia/>>. Acessado em: 02/01/2023.

Vemos então que a onomatopeia é na verdade uma expressão cultural, pois, o som ouvido conscientemente é subjetivo e sujeito a diversas interpretações. Sendo muito utilizada em quadrinhos, livros, dentre outras literaturas escritas, a onomatopeia é uma figura de linguagem, uma tentativa de reprodução de sons de forma padronizada, que busca aumentar o envolvimento do leitor, mostrando assim a importância do som em qualquer manifestação cultural.

Por ser cultural, a onomatopeia encontra outras interpretações para o mesmo som em diferentes línguas. O quadro a seguir ilustra alguns exemplos de onomatopeias em português e em inglês.

Reprodução	Português	Inglês
Admiração	Uau	Wow
Barulho do relógio	Tic Tac	Tick Tock
Batida na porta	Toc Toc	Knock, Knock
Dor	Ai	Ouch
Mergulho	Tchibum	Splash
Água caindo	Chuá	Splash
Mordida	Nhac!	Chomp, Chomp

Em certas culturas, a onomatopeia é ainda a parte mais importante da narrativa, empregando a ela um dialeto próprio, rico em representações gráficas impactantes, desenhadas em tons maiores ou menores, de acordo com a intensidade do som que se quer representar. Um exemplo bastante significativo diz respeito aos mangás, que possui um enorme repertório onomatopaico, característico da língua japonesa, a qual possui algo em torno de 4500 palavras, e pela preocupação criadora dos artistas em trazer para o mangá, na forma escrita, um costume cultural.

Assim como temos uma forma particular de classificar as paisagens sonoras na língua portuguesa, seja por meio dos sons geofônicos, antrofônicos ou biofônicos (KRAUSE, 2016), ou ainda por meio dos sons naturais, humanos ou tecnológicos (SCHAFER, 2012), para a cultura japonesa surgem classificações semelhantes para a onomatopeia, quais sejam, ‘giongo’, ‘giseigo’ e ‘gitaigo’.

‘Giongo’ são palavras que imitam os sons de impacto de objetos. Quando uma pedra cai faz ‘ga-gara!’ (pook!). Quando a água pinga, faz ‘potsu-potsu’ (tchaa!).

‘Giseigo’ é a reprodução de sons de vozes humanas, de animais e fenômenos da natureza. O latido, por exemplo, é ‘wan wan’, o som de um vento forte é ‘biu biu’, etc. Os quadros a seguir ilustram tais expressões.



Fonte: Mochi. Mangá, um quadrinho onomatopaico. Quadrinheiros. Publicado em 11 de setembro de 2017. Disponível em: <<https://quadrinheiros.com/2017/09/11/manga-um-quadrinho-onomatopaico/>>. Acessado em: 02/01/2023.

De acordo com a fonte acima citada, temos, à esquerda, ‘Zaaaaa’, escrito em katakaná, do alfabeto japonês. Esse som representa o som do silêncio (Gitaigo), na cena em que o personagem contempla a noite e a chuva. À direita, “Goon!!”, também em katakaná, onomatopeia que mostra impactos entre objetos (Giongo). Neste caso, o soco. Já ‘Gitaigo’, são palavras onomatopaicas que imitam sons de estados físicos ou emocionais ou “sons do silêncio”. Pertencendo ao grupo mimesis, gijôgo ou psychomimes são expressões referentes àquilo que não emite som, mas que é representado por onomatopeias para expressar o estado psicológico dos personagens.

O onomatopeísmo é tão importante para a expressão humana que o usamos sem perceber, ao associarmos ações e imagens à objetos sonoros, tais como assobiar, roncar, miar, além de serem indispensáveis aos diálogos digitais, com os fonemas que representam o som dos risos, como, por exemplo, o ‘kkkkkk’.

A onomatopeia também serve de apoio ao exercício da memória auditiva. Ao associar uma expressão escrita ao som, o aluno é convidado ao resgate sonoro de suas próprias experiências, bem como ao desenvolvimento da escuta pensante. E deparando-se, também, com as interpretações alheias para o mesmo som, é possível adquirir novas perspectivas. Na atividade a seguir exercitaremos o uso das onomatopeias relacionadas a objetos e eventos sonoros.

### Atividade: resgate sonoro por meio das onomatopeias

1º) Escreva, no quadro a seguir, suas próprias interpretações onomatopeicas para cada som designado.

Som	Onomatopeia
Chuva	
Panela caindo no chão	
Chocalho balançando	
Grito	
Buzina de carro	
Buzina de caminhão	
Passos	
Noite	
Silêncio	

2º) Descreva, no quadro a seguir, que som vem em sua mente para cada onomatopeia listada.

Onomatopeia	Som
Zzzz	
aff	
plaft	
smack	
cocóricó	
bi-bi	
pow	
vrum-vrum	
buááá	
blém-blém	

3º) Grave e traga o som de alguma ação a sua escolha. Em seguida, escreva a onomatopeia para esta ação.

A sigla ASMR vem do inglês, Autonomous Sensory Meridian Response, ou em português, Resposta Sensorial Meridiana Autônoma. É de conhecimento amplo seu enorme sucesso na plataforma do Youtube, mas poucos entendem o que é de fato a ASMR.

Quem, sentado na cadeira do salão para cortar o cabelo, nunca sentiu uma sensação bem relaxante ao ouvir o ‘tic-tic-tic’ da tesoura, seguido do ‘creeec-creeec-creeec’ baixinho dela agindo sobre os fios? E ainda, do ‘tch-tch-tch’ do spray que molha a cabeça e do ‘ziiip-ziiip-ziiip’ da escova ao pentear o novo corte?

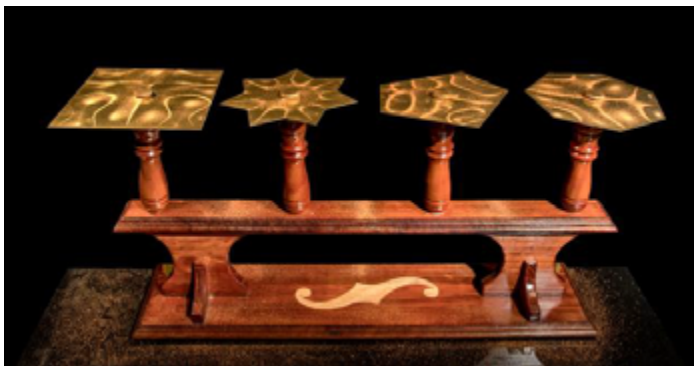
Em suma, ASMR tem a palavra “Resposta” por ser algo rápido, causado por um estímulo; a palavra “Sensorial” por estar relacionado às sensações; a palavra “Meridiana” por funcionar em tripla função, sugerindo picos de prazer e energia, típicas da medicina tradicional chinesa; e finalmente a palavra “Autônoma” por ser algo totalmente involuntário.

Isso faz com que as pessoas usem o ASMR para relaxar, aumentar rendimento, aumentar a concentração e muitas vezes, simplesmente para dormir, sendo um estímulo capaz de aliviar a ansiedade e até ajudar em casos de depressão.

Entendemos assim, de forma exemplificada, que as ondas sonoras atuam no corpo humano como um todo. O fenômeno do ASMR guarda relação com a geometria do som (Cimática), bem como com a ‘Terapia Binaural de Batimentos’.

A Cimática é o estudo dos padrões que resultam da ação das ondas nos meios elásticos. Tais padrões tem relação direta com a frequência e amplitude das ondas, bem como com a geometria do meio.

Um exemplo simples seria a visualização dos padrões formados numa porção de areia espalhada num prato de metal, ao fazê-lo vibrar. Tal aparato é conhecido como as placas de Chladni, em homenagem ao físico alemão Ernst Florenz Friedrich Chladni, o qual foi pioneiro no estudo da vibração mecânica em placas metálicas. A figura a seguir, mostra alguns padrões, figuras de Chladni, em placas.



Fonte: [https://matemateca.ime.usp.br/acervo/placas\\_chladni.html](https://matemateca.ime.usp.br/acervo/placas_chladni.html).

Já a Terapia Binaural de Batimentos é uma terapia contemporânea, ainda em consolidação, mas que tem apresentado interessantes resultados enquanto terapia de relaxamento. Tal terapia se utiliza das ondas sonoras, produzindo batimentos pela ação de sons puros de frequências ligeiramente diferentes em cada orelha. Tal técnica consiste em submeter as orelhas direita e esquerda a tons de frequências ligeiramente diferentes.

Para que se torne uma experiência interessante e relaxante, o ouvinte precisa estar usando um par de fones de ouvido estéreo, pois os dois ouvidos precisam receber sons diferentes e independentes, com a mesma intensidade. Aqui é preciso tomar bastante cuidado com a intensidade, para não correr risco à saúde. Além disso, os tons devem estar em frequências inferiores a 1.000 hertz (Hz) para que o cérebro possa detectar a batida binaural. O resultado é a percepção da diferença entre as frequências dos sons que entram na orelha esquerda e na direita. Por exemplo, se a orelha esquerda registra um som puro de 220 Hz (nota A) e a orelha direita registra um em 210 Hz (abaixo da nota A), a batida binaural será de 10 Hz.

A ASMR é um fenômeno ainda em estudo. Contudo, experimentá-lo nos faz perceber que, apesar de ser uma resposta autônoma, a escuta pensante, considerando tanto a análise teórica quanto a subjetividade da intenção de escuta pode levar a interessantes debates em torno a percepção auditiva. Muito embora não haja consenso na comunidade científica sobre modelos teóricos capazes de dar conta do fenômeno em sua completude, aqui propomos como atividade didática de sensibilização da audição.

## **Atividade: a influência do som inconsciente**

“Se quiser encontrar os Segredos do Universo, pense em termos de Energia, Frequência e Vibração.”  
(Nikola Tesla)

Os benefícios de uma ASMR ainda não possuem uma base científica sólida, e revestem-se de uma complexidade adicional que reside no fato de ser uma percepção subjetiva, individual.

Schafer aponta que um som que não seja agradável, quando ouvido de forma constante, mesmo que em baixas intensidades, pode provocar séries distúrbios ao ser humano, tanto fisiológicos, quanto psicológicos. Desta forma, entender a influência dos sons inconscientes sobre nós, ainda faz parte (mesmo que contraditório) da consciência auditiva, sendo um exercício de sensibilidade e conexão com o que nos cerca.

1º) Pesquisa e escute 10 min de um vídeo de ASMR que seja agradável. Primeiro, prestando atenção no som e na imagem do vídeo. Depois, feche os olhos e repita os mesmos 10 min apenas com o som. Descreva o que sentiu em cada uma das duas formas de escutar. Anote o link do vídeo escutado.

2º) Produza seu próprio ASMR por meio da gravação de algum som repetitivo a sua escolha. Logo depois, descreva como foi produzido o som e escreva qual a sensação esperada que você acha que as outras pessoas terão ao ouvi-lo.

3º) Ouça 10 min do som Binaural do link: [https://youtu.be/\\_atUE56itjE](https://youtu.be/_atUE56itjE). Depois descreva o que sentiu. Para você, trata-se de um som agradável ou desagradável? Onde você se imagina utilizando este som?

4º) Perceba os sons que lhe cercam ao longo de 1 (um) dia e descreva um som do seu cotidiano que lhe é agradável e um som que lhe é desagradável.

5º) que relações você julga que existem entre a ASMR e a segunda e terceira funções da escuta de Pierre Schaeffer?

Segundo Schafer (2012, p. 368), “sonografia é a arte da notação da paisagem sonora. Pode incluir métodos habituais de notação, tais como o sonograma ou o registro do nível sonoro, mas, além disso, procura também registrar a distribuição geográfica dos eventos sonoros.”. Nesta perspectiva, não é suficiente apenas a identificação dos sons ou fontes sonoras presentes, mas também a distribuição desses sons nos diversos ambientes. A figura a seguir mostra um esboço inicial da planta baixa do Campus de Barra do Bugres da Universidade Estadual do Mato Grosso - UNEMAT, construído por licenciandos em matemática, como parte de curso sobre “Ciência e cultura do som e da música”, oferecido em 2011, na citada instituição (MONTEIRO JÚNIOR, 2012). Em cima deste mapa, os alunos foram alocando as fontes sonoras e anotando os dados relativos a elas.



Nesta atividade, iremos construir, em grupo, um mapa sonográfico de algum lugar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, ou de outro local à escolha dos participantes.



## **Atividade: construindo um mapa sonográfico**

Para a construção do mapa, organizem-se em grupo, atribuindo tarefas específicas a cada um dos componentes. Neste processo, além de registrar as fontes sonoras, é preciso realizar os seguintes passos:

1º) Escolham o lugar para o qual desejam construir o mapa sonográfico. Se houver possibilidade de conseguir a planta baixa do local, não irão precisar desenhá-la. Caso não consigam a planta, o primeiro passo é desenhá-la. Um ou dois componentes do grupo ficarão responsáveis pelas anotações no mapa. Tais anotações podem ser rabiscadas, como no exemplo da figura anterior. Ao final, passem a limpo numa nova versão do mapa.

2º) Em cada um dos espaços, meçam e anotem no mapa os níveis de intensidade sonora, identificando e escrevendo no mapa os objetos causadores dos ruídos. Para esta tarefa, um ou dois componentes utilizarão um aplicativo decibelímetro instalado num smartphone para posterior comparação com os valores de referência.

3º) Um ou dois componentes ficarão responsáveis pelo registro da dinâmica da paisagem, anotando as mudanças ocorridas ao longo dos diversos locais do campus. Para isso utilizarão um aplicativo gravador de áudio instalado num smartphone.

4º) Identificar e registrar os mais expressivos sons presentes em cada um dos ambientes do local, utilizando, para tanto, um aplicativo analisador de espectro instalado num smartphone. Nesta atividade, um ou dois componentes farão o print da tela do aplicativo para cada ambiente, para posterior análise.

5º) Identificar, durante a análise sonográfica, a existência de locais com relação sinal-ruído hi-fi, onde se possa planejar e construir algo próximo de um jardim sonoro, valorizando o silêncio, onde as pessoas possam desfrutar do descanso proporcionado pelos prazeres acústicos.

Vivemos imersos em paisagens sonoras, num oceano de sons cotidianamente. É o ruído da TV e de outros eletrodomésticos em nossa casa e, na rua, as buzinas dos carros, o avião, as conversas pelo celular, os vendedores, carros de som, caixas de som nas portas dos estabelecimentos comerciais são apenas algumas dos objetos sonoros sempre presentes nas sociedades contemporâneas.

Diferentemente de como acontece na música, na qual a dinâmica dos sons é arranjada com o intuito de produzir prazer, os sons e ruídos das paisagens sonoras do mundo ocorrem, quase sempre, de forma simultânea e sobreposta, com níveis de intensidade que causam desinteresse. Quase nunca paramos para ouvir, desvelar as paisagens em seus objetos constituintes. O que percebemos, em geral, é o amálgama, o ruído de fundo resultado da junção desses ruídos.

A sensibilidade auditiva é a capacidade que alguém desenvolve de identificar separadamente cada som. Em meio à diversidade de sons de uma paisagem, o ouvinte atento intenciona a escuta de um ou de outro som em particular, o destaca, e o analisa simbolicamente e estruturalmente.

Esta é uma das habilidades desenvolvidas no ensino e na aprendizagem da música. Semelhantemente às paisagens sonoras cotidianas, a música é composta de muitos sons, que se harmonizam a partir de uma sintaxe própria. Para o ouvinte que não tem o ouvido treinado para perceber cada um dos componentes de uma peça musical, o que se ouve é apenas o todo, pela incapacidade de perceber a relação figura-fundo. Daí a importância de exercícios de sensibilização da audição.

A memória auditiva é essencialmente o processo cognitivo por meio do qual desenvolvemos os mecanismos de reconhecimento dos sons, das vozes, da compreensão da linguagem, da comunicação. Fundamental também na prática musical, na percepção de sua dinâmica, em processos de reconhecimento de alturas, ritmos e harmonia. Há diversas ferramentas didáticas para trabalhar a memória auditiva. Uma delas é o jogo da memória auditiva que iremos vivenciar nesta aula.369

### **Atividade: brincando com a memória auditiva**

Além de divertido e instrutivo, o jogo da memória auditiva é um material fácil de ser montado, havendo na internet inúmeras versões. As figuras a seguir mostram o modelo montado por nós. Neste, os recipientes, que devem ser todos iguais, são copinhos de alumínio, lacrados com discos de papel cartão colados em sua borda.



Nosso modelo é composto por 12 pares de copos. Em cada par foi colocado um material diferente, dentre os quais, arroz, feijão, porcas de metal e bolinhas de plástico. O interessante é escolher objetos que produzam sons contrastantes. No fundo dos copos, todos os pares foram numerados para conferência. Como no jogo da memória tradicional, ganha quem encontrar o maior número de pares.

## **BIBLIOGRAFIA**

ARANTES, G. Planeta água. In: **Amanhã**. Nova York: Elektra Records, 1983. 1 CD, estéreo, faixa 6.

ARAÚJO FILHO, J. V. **Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 2006.

CHEDIAK, A. **Harmonia e improvisação**. v.1. 7ed. Rio de Janeiro: Lumiar, 1986.

DENYER, R. **The Guitar Handbook**. London: Pan Books, 1992.

Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa – Michaelis. Editora Melhoramento Ltda. Ano 2023. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/onomatopeia>>. Acessado em: 02/01/2023.

FONTEERRADA, M. T. O. **Música e meio ambiente**: ecologia sonora. São Paulo: Irmãos Vitale, 2004.

FREIRE. **Pedagogia do oprimido**. 58ª ed. Rio de Janeiro: Paz e terra, 2014.

KRAUSE, B. **Wild Soundscapes**. New Haven: Yale University Press, 2016.

NASCIMENTO, L. G.; TEIXEIRA, H. C. Asa Branca. In: **Catamilho**. Rio de Janeiro: RCA Victor, 1974. 1 LP, estéreo, faixa 1.

MACIEL NETO, A. S. **Sequência didática para a aprendizagem significativa da acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais com o tubo de Kundt**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Somando funções trigonométricas: uma reconstrução didática do conceito de timbre a partir de duas experiências pedagógicas. *Bolema*, Rio Claro/SP, n. 37, v. 23, 2010.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; ALBARRACÍN, L. M. M. Ciência e música nas melodias da zampoña. *Semiário De Visu*, v.1, n.2, p.80-91, 2011.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Educação sonora**: encontro entre ciências, tecnologia e cultura. 2012. 315 ff. il. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Bauru-SP, 2012.

MORAES, V. O. **Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba**. 2022. 77f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife.

OLIVEIRA FILHO, J. P. **Sequência didática investigativa baseada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov para a determinação experimental da velocidade do som no ar**. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife.

ROSSING, T. D.; MOORE, R. F.; WHEELER, P. A. **The science of sound**. 3ed. USA: Pearson, 2014.

SANTOS, L. M. P. Certas coisas. In: **De leve**. Rio de Janeiro: WEA, 1996. 1 CD, estéreo, faixa 8.

SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo**. 2ed. São Paulo: Editora da UNESP, 2012.

VIANA, D. C. Ladeirinha. In: **Milagreiro**. Rio de Janeiro: Luanda Edições Musicais, 2001. 1 CD, estéreo, faixa 4.

WATERS, G. R. (Pink Floyd). Money. In: **The Dark Side of the Moon**. London: Abbey Road, 1973. 1 CD, estéreo, faixa 6.

WHELLER, G. F.; CRUMMETT, W. P. **The vibrating string controversy**. *American Journal of Physics*, 55, 33, 1987.