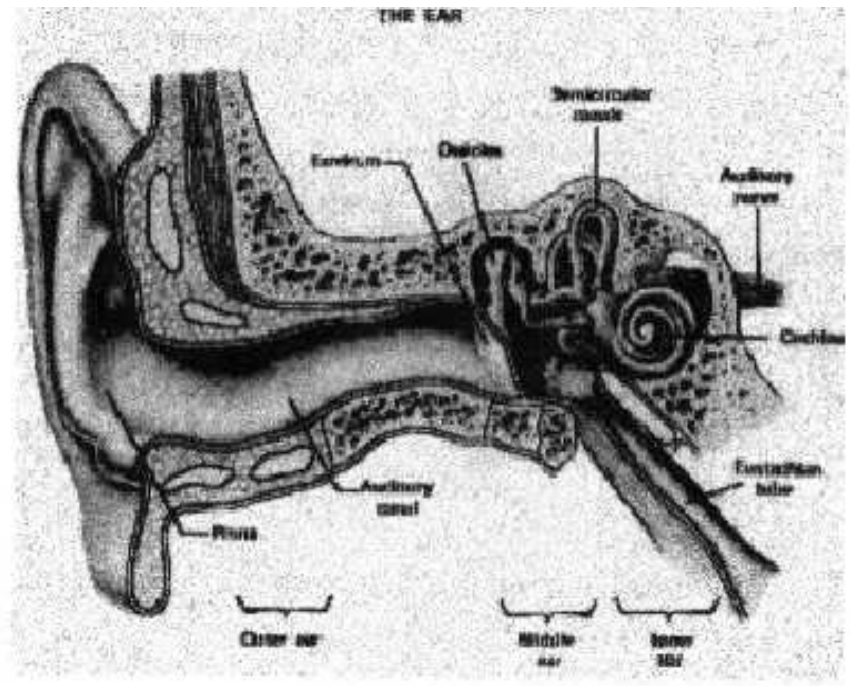
Curso Básico de

Psicoacústica

Organizado por
Armando Fernandes Bugalho Filho
Elaborado para o Curso de Musicoterapia da UNAERP
Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto



(Aperte "CTRL + Home" para voltar ao tôpo da Página)

I - Introdução

O que é Psicoacústica?

Qual a importância da Psicoacústica

Por que a Picoacústica é interessante?

II - Conceitos básicos e definições

1 - O que é som?

2 - A natureza da onda sonora

3 - Tom (Pitch)

4 - Potência do som (Loudness)

5 - Timbre

III- Percepção do som

6 - Transmissão do som até o cérebro

7 - Percepção do tom

8 - Fadiga auditiva

9 - Audição binaural

10 - Azimute

11 - Intensidade e sombra acústica

IV - Fisiología do ouvido

12 - Ouvido Externo

13 - Ouvido Médio

14 - Janela Oval

15 - Ouvido Interno

16 - Cóclea
V - Psicofísica da Percepção do Tom
17 - Funcionamento da Cóclea
18 - O sistema de transmissão da Cóclea para o Cérebro
19 - Sobreposição dos sons
20 - Sobreposição de dois sons de igual Frequência e Fase
21 - Teoria Local para a precepção dos tons
22 - Teoria Temporal da precepção dos tons
23 - O problema da perda da Fundamental
VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom
24 - Relação entre tom e frequência
25 - Percepção da potência (Loudness)
26 - Fatôres que afetam a percepção da Potência
27 - Reconhecimento de padrões auditivos
28 - Efeito "coquetel"
29 - Diferença mínima evidente (JND)
30 - Tom virtual ou residual
VII - Teorias da Consonância e Dissonância
31 - Conceitos de consonância e dissonância
32 - Teoria de Helmholtz
33 - Teoria de Plomp
VIII - Fim
Glossário
Bilbiografia (Medicine and Music)
Links a outras Páginas de Interêsse
Sobre o Autor

I - Introdução

O que é PSICOACÚSTICA?

Psicoacústica pode ser definida como o estudo fisiológico da audição.O propósito da pesquisa psicoacústica é entender como se dá este processo auditivo, ou melhor, como os sons chegam ao ouvido e são processados pelo ouvido e pelo cérebro de modo a dar ao ouvinte informações úteis sobre o mundo à sua volta.
À psicoacústica não cabe investigar como os sons produzem um determinado estado emocional ou resposta cognitiva, isto é tarefa para a psicologia. O fato de a psicoacústica trabalhar com a medição das respostas auditivas do ser humano em um meio ambiente determinado sob certas condições é o motivo principal que faz com que a psicoacúsica seja considerada um braço da psicologia.
Algumas areas importantes da pesquisa psicoacústica são: Como conseguimos ouvir separadamente sons que ocorrem simultâneamente? Como conseguimos localizar sons no espaço? Como conseguimos determinar o Tom de um som?
Pesquisadores neste sentido são chamadas propriamente de "psicoacústicos", e não devem ser confundidos com os "psico acústicos", estes sim se preocupam em como um determinado som (ou sons) afetam o comportamento e o estado psicológico dos ouvintes.

Qual a importância da PSICOACÚSTICA?

Talvez muitos leitores tenham se desapontado com a descoberta de que a psicoacústica não seja o estudo sobre o controle da mente através do som, embora ela tenha muita coisa de importante a oferecer à sociedade. Determinar as habilidades e limitações da audição humana, é de um valor incalculável na ajuda de como usar os sons no nosso meio ambiente. Qualquer ambiente onde o som seja produzido com o fim de ser ouvido por um público, deve considerar o processo de como esse som chega à esse público.
Também na pesquisa e construção de aparelhos auditivos a ajuda da psicoacústica é fundamental, uma vez que, um problema que se coloca com muita frequência nesta área, se amplificam os sons que são importantes para a pessoa , como sulucionar o problema de que esses sons vem junto com vários outros que podem ser classificados como "ruidos" ou "sons interferentes" ,e são , ou seriam, também amplificados?

Por que a PSICOACÚSTICA é interesssante?

O ser humano é uma criatura naturalmente muito curiosa. Nós gostamos de saber porque as coisas são do jeito que são. Os sons são importantes para nós em tantas áreas , de modo que nós sentimos um grande interêsse em saber: Porque nós percebemos os sons da maneira que que o fazemos? Para ser honesto, muitos estudantes de psicologia correm gritando das leituras sobre audição. Acredito que haja mais para se fazer com a natureza frequentemente técnica da referida matéria do que apenas a falta de desejo ou interêsse de aprender sobre ela. Isto é uma vergonha porque os conceitos básicos da psicoacústica podem ser entendidos por qualquer um, mesmo sem um conhecimento prévio detalhdo do assunto. (Chris Plarck)

I - Introdução / II - Conceitos / III- Percepção /IV - Fisiología do ouvido /V - Psicofísica da Percepção do Tom /VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom /VII - Teorias da Consonância e Dissonância / VIII - Fim

II - Conceitos básicos e definições

Questão: Se uma árvore cai em uma floresta, e não há ninguém para ouví-la, haverá som?

1 - O que é som?

1- É um movimento organizado de moléculas causado por um meio vibrante:
água, ar, pedra ou qualquer outro .
2- é a sensação auditiva prodizida no ouvido por deslocamento de partículas,
ou pressão do ar.
As duas definições estão corretas, elas diferem apenas em que a primeira é uma causa e a segunda é um efeito.

2 - A natureza da onda sonora

O som se origina quando um corpo se move para trás e para adiante rápido o suficiente para enviar uma 'sequência de ondas através do meio no qual está vibrando.
Demonstração: Uma simples forma de onda é produzida pela explosão de um pequeno balão de ar comprimido. Pelo estouro do balão, a energia potencial (energia de posição) é transformada em energia cinética (energia de movimento). Um alto falante, por sua vez, transforma energia elétrica em energia sonora (energia é a capacidade de um sistema para produzir trabalho e é medida pela quantidade de trabalho executado dentro do sistema. Seja qual for a natureza da energia, ela se manifestará ou se aprenentará em duas formas:energia cinética e potencial - Luiza de Arruda Nepomuceno, Elementos de acústica física e psicoacústica, pág. 9, Edit. Edgar Blucher LTDA).

3 - Tom (Pitch)

É a percepção da frequência do som. O tom de um som é afetado por outras características do som, tais como a amplitude (afastamento máximo em relação à posição média - distância do ponto central na curva senoidal) e o timbre (fig.1).

Limiar da audição	0
Campo farfalhando com a brisa	20
Restaurante silencioso	50
Tráfego intenso	70
Aspirador de pó	80
Limiar do pânico	120
Jato em decolagem	140

4 - Potência do som (Loudness)

A potência do som pode ser definida como a percepção da amplitude do som, ou a intensidade do som. No entanto a potência é afetada pela frequência do som . A intencidade do som é medida em decibéis - dB. Decibéis são medidos em escala logarítmica. O nível mais baixo para a audição é zero dB e o mais alto, já seria o limiar do pânico é 120 dB. Uma conversa normal entre duas pessoas normalmente atinge 40 a 50 dB. Normalmente as pessoas não são capazes de fazer julgamentos absolutos sôbre a potência do som.

5 - Timbre

Timbre é a qualidade característica ou a "cor" do som. É aquele atributo de um som pelo qual um ouvinte pode julgar que dois sons de mesma potência e tom são de diferentes. A diferença perceptível entre o Dó médio de um Clarinete e o Dó medio de um violino é o Timbre. É um atributo complexo e pode ser definido como o tipo da forma de onda (uma onda em forma de sino é uma onda pura - ver fig.1, pag.3).
Definições de Timbre são sempre muito vagas e alguns autores (Bly) o definem como um "conjunto multidimensional de tudo o que não é Tom ou Potência". O Timbre não pode ser reduzido a uma propriedade acústica que automaticamente produza uma nota de Clarinete ou Violino.

I - Introdução / II - Conceitos / III- Percepção /IV - Fisiología do ouvido /V - Psicofísica da Percepção do Tom /VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom /VII - Teorias da Consonância e Dissonância / VIII - Fim

III- Percepção do som

6 - Transmissão do som até o cérebro

30.000 fibras nervosas transmitem por impulsos elétricos (os chamados potenciais de ação , que chegam a tranmitir até 900 Hz por fibra), 1.500 alturas de tom diferentes, e 325 graus de intensidade, ou seja, algo em torno de 340.000 valores desde as localizações da membrana basilar, através do nervo auditivo, até o cérebro. Neste processo, a soma de todas as frequências e impulsos tem como resultado o som.

7 - Percepção de tom

Para que possamos perceber um tom como tal, é preciso que o seu tempo se exposição seja maior do que 10ms e com um mínimo de três comprimentos de onda.
Caso a exposição seja menor do que este tempo, ouviremos apenas um "clique" (estalo) sem a percepção de sensação tonal, apesar de se poder perceber que este "clique" possui um tom mais agudo ou mais grave. Com um, tempo de exposição de 10ms já podemos perceber um tom, apesar de o percebermos como sendo mais grave do que realmente é. Quanto maior o tempo de exposição do som, maior o grau de exatidão na análise do som. Nas baixas frequências é preciso um tempo de exposição maior do que nas altas para o reconhecimento de um tom, mas na região média, o tempo é meor do que em qualquer outra faixa.
Já o número de comprimentos de ondas necessários para que possamos perceber o tom, varia para cada frequência e é resultado do produto da frequência pela duração. Ex.: para uma frequência de 1.000 Hz com uma exposição de 0,012ms serão necessários 12 (1.000 X 0,012) comprimentos de ondas (ou períodos). É importante notar que, como foi dito acima, por temos a tendência a classificar o tom de um som grave como sendo mais

grave do que realmente é, algumas pessoas podem achar que o contrário acontece com os tons agudos, ou seja , haveria uma tendência para percebê-los mais agudos do que realmente são. Isto não acontece, quando o tempo de exposição é muito curto, o tom de um som em qualquer frequência será percebido como sendo mais grave do que realmente é.

8 - Fadiga auditiva

Pode ocorrer quando um esímulo sonoro intenso precede a audição de um determinado som, causando o deslocamento permanente do limiar auditivo, com a lesão da cóclea e por consequência a surdez. A exposição demorada a esses estímulos podem causar: a perda de algumas células ciliadas externas, com ou sem degeneração das células de base, ausência total dessas células ou ainda ruptura do órgão de Corti.

9 - Audição binaural (Luiza de A. Nepomuceno- elementos de acústica física e psicoacústica)

As duas orelhas têm a função de localizar uma fonte sonora em um espaço tridimensional e a binauralidade é tão importante, que se um indivíduo tiver uma diferença significativa no limiar auditivo entre as duas orelhas, não conseguirá localizar a fonte sonora.

A precisão na localização do som diminui entre as frquências de 2.000 Hz e 4.000 Hz; nas altas frequências o índice de acertos aumenta, e é maior nas baixas frequências.
O maior índice de acertos acontece quando a fonte está localizada no plano médio (azimute zero) e decresce ao se deslocar para o azimute 90º, qualquer que seja o lado do deslocamento.
Estalos e sons sibilantes são localizados mais prontamente do que tons puros.
A localização dos tons de baixa frequência é baseada na diferença de fase, a dos tons de alta frequência, na diferença de intensidade. Porém na faixa de frequências perto de 3.000 Hz, nenhum dos recursos acima são efetivos para explicar a localização do som, e até hoje não foi formulada uma hipótese que explique na íntegra a audiçào binaural.

10 - Azimute

É o ângulo formado entre a direção do som e o plano médio das orelhas e deve ser de 0º (zero grau). Isto ocorre quando a fonte sonora está exatamente à frente do observador e no plano médio das duas orelhas.
quando a fonte sonora está num azimute diferente de zero, o ouvinte tende a mover a cabeça de tal modo que este seja zero. Também é sabido que que a mudança de azimute implica em mudança de Loudness.

11 - Intensidade e sombra acústica

Se dois sons diferentes apenas por suas intensidades, atingem cada uma das orelhas, tenderemos a imaginar que a fonte sonra está do lado atingido pelo som de maior intesidade.
Caso a fonte esteja situada junto a uma das orelhas (azimute = 90º) o tom atingirá cada orelha com uma intensidade diferente, já que a cabeça constitui uma interferência à chegada do som na orelha mais distante da fonte. Isto é uma "sombra acústica e o tamanho da sombra depende da frequência do som. Coma a distância que separa as duas orelhas é de aproximadamente 21cm, nas frequências baixas a cabeça não constitui obstáculo, pois o comprimento de onda envolve a cabeça. Por exemplo:
a frequência de 800 Hz, com um comprimento de onda de 42 cm (duas vezes a distância que separa as duas orelhas).
Quanto mas alta a frequência, maior a interferência, pois os comprimentos de onda são menores em relação à dimensão da cabeça. Por exemolo: a frequência de 2.000 Hz, com um comprimento de onda de 17 cm já existe a presença da sombra acústica. Para diferenças acima de 5.000 Hz a diferença em loudness chega a 30 dB.
OBS.: Para se calcular o comprimento de uma onda, basta dividir a velocidade do som no meio físico (no ar : 340 m/s, no hidrogênio: 1.261 m/s, na água:1.500 m/s, no aço:5.100 m/s - variações no meio serão em função da temperatura) pela frequência do som. Ex.: para a frequência de 2.000 Hz, o comprimento da onda será: 340m / 2.000 Hz = 0.17m.

IV - Fisiologia do ouvido

12 - Ouvido Externo

Compreende o pavilão da orelha, formação cartilaginosa cheia de contornos, em forma de funil, que se prolonga com o conduto auditivo externo, cilindro de 25 mm de profundidade que termina no tímpano.
O ouvido externo capta o som, processo no qual o canal auditivo, atuando como ressonador, intensifica o dôbro ou o tríplo as ondas sonoras.
(Grande Enciclopédia Delta Larousse, pag5011)

13 - Ouvido Médio

Transmite o som. É constituído pela caixa do tímpano, cavidade contendo a cadeia de ossículos (martelo, bigorna e estribo) que tranmitem as vibrações do tímpano à janela oval. A caixa do tímpano comunica-se, atras, coma as cavidades mastóideas, que funcionam como caixa de ressonância, e, na frente, com a faringe, pela Trompa de Eustáquiio, cuja abertura,durante a deglutição, restabelece uma pressão interna igual à pressão atmosférica.
(Grande Enciclopédia Delta Larousse, pag5011).
Pode reagir a amplitudes de 10 -9 cm (1/10 do diâmetro de um átomo de hidorgênio!) em um tom ppp com uma frequência de 3.000 Hz.

Os ósssos,combinados, podem duplicar ou triplicar as vibrações do Tímpano. Os músculos do ouvido médio modificam o desempenho desse sistema de alavancas, atuando como uma unidade amplificadora, além de atuarem como um controlador de volume, pois protegem o ouvido contra sons exessivamente altos diminuindo as vibrações que chegam do Tímpano.
Embora esses pequenos músculos, os menores no corpo humano, no fim do canal ossicular, possam ser movidos vuluntariamente, suas contrações são, normalmente, reflexos desencadeados quando o som exede determinado nível.
O ouvido médio só transmite frequências até 2.000 Hz. Acima disso, são transmitidas pelos ossos

14 - A Janela Oval

É a comunicação entre o ouvido médio e o ouvido interno. O Estribo passa as vibrações para a Janela Oval, que é uma membrana que cobre uma abertura na "caixa de ossos" (bony case) da Cóclea.
O tamanho da Janela Oval (15 a 30 vezes menor do que o Tímpano), faz com que se produza a amplificação crítica necessária para se igualar a Impedância (propriedade que os corpos têm de se oporem ao movimento) entre as ondas de som no ar e o Fluido Coclear. Além da amplificação do sistema de alavancas do Ouvido Médio, esta concentração de forças amplifica as vibrações do som que chegam cerca de 15 a 30 vezes.
O resultado desses três mecanismos (o tubo de ressonância do canal auditivo, que pode aumentar a pressão do ar em até 10 vezes; o sistema de alavancas, que pode tripicá-lo; e a localizaçã estratégica do Tímpano e da Janela Oval) podem amplificar a onda sonora em até mais de 800 vezes antes que que o líquido do ouvido interno se ponha em movimento.

15- Ouvido Interno

Situado na espessura do rochedo do osso temporal, compreende o labirinto ósseo, formado de um vestíbulo ósseo comunicando com três Canais Semicirculares (órgãos do equilíbrio) e com o Caracol ou Cóclea (Orgão de Corti, aparelho sensorial da audição). Encontram-se no ouvido interno dois líquidos peculiares, a Endolinfa, que enche todas as cavidades do labirinto membranoso, e a Perilinfa,que preenche o espaço entre o labirinto membranoso e o labirinto ósseo. O ouvido interno é irrigado pela artéria auditiva, que se subdivide em ramos

vestibular e coclear, e do ouvido interno partem para o cérebro (córtex auditivo) através do conduto interno, o nervo auditivo, que se subdivide em nervo coclear e nervo vestibular.

16 - A Cóclea

A força mecânica amplificada trasmitida do ouvido médio para o ouvido interno pelos ossículos, é imediatamente transformada, na Cóclea, em pressão hidráulica. Essa pressão hidráulicamove-se para o canal cocleare para o Orgão de Corti, o lugar periférico da audição.Este processo é realizado na Cóclea, que não é maior do que a ponta de um dedo mínimo.
Os canais Vestibular e Timpânico contêm Perilinfa (um líquido muito semelhante ao fuido espinhal). O canal da Cóclea contém Endolinfa (um líquido semlhante ao fluido contido nas células). Os canais são separados por finas membranas: a Membrana de Reissner, entre o canal Vestibular e o canal da Cóclea, é a mais fina (equivale a parede de duas células), e a Membrana Basilar, entre o canal do Tímpano e o canal da Cóclea.

I - Introdução / II - Conceitos / III- Percepção /IV - Fisiología do ouvido /V - Psicofísica da Percepção do Tom /VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom /VII - Teorias da Consonância e Dissonância / VIII - Fim

V - Psicofísica da Percepção do Tom

17 - Funcionamento da Cóclea

As ondas de pressão na Cóclea conferem energia ao longo da rota que começa na Janela Oval e termina abruptamente na membrana coberta pela Janela Redonda, onde a pressão é dissipada. Conforme as leis da hidráulica, a pressão aplicada à Janela Oval pelo Estribo é transmitida a tôdas as partes da Cóclea.
Os canais semicirculares são o mecanismo de equilíbrio do corpo e parece que não participam do processo de audição.
Uma das duas paredes do Canal da Cóclea é a vibrante Menbrana Basilar, cuja função é separar os sons de acordo com a frequência. A menbrana é estreita e dura no fim, perto do Estribo e larga e mais fexível do outro lado.
As ondas de pressão hidráulica na Cóclea, induzem à uma ondulação correspondente na Membrana Basilar que se desloca por toda a espiral.
Tons agudos induzem criam suas maiores cristas onde a menbrana é mais firme, tons graves onde a membrana é mais flexível. Isto porque a frequência ressonante está relacionadacom a tensão, assim como em uma corda esticada. A posição dessas cristas é importante porque ela determina quais fibras nervosas mandarão sinais para o Cérebro. Tons de alta frequência fazem com que as cristas ocorram na base da Cóclea e tons de baixa frequência, no cume. Além dos sons que vem do ar a Membrana Basilar também recebe vibrações que vem dos ossos, tais como aquelas produzidas pelo bater dos dentes, por exemplo.

18 - O Sistema de Transmissão da Cócllea para oo Cérebro

Êste sistema contém 30.000 fibras nervosas que saem do Órgão de Corti para formarem o nervo auditivo. Estas fibras são agrupadas de acordo com a frequência do sinal sonoro que elas carregam, o número de fibras que um som requer dá ao Cérebro a indicação da sua intensidade.
Vindo do Cérebro, fibras nervosas descendentes podem transportar instruções da parte de trás do Cérebro para o ouvido, para filtrar, e com isso eliminar, alguns sinais que o Cérebro determina como sendo sem importância, e se concentrar em outros. Depois de passar pelo núcleo coclear, alguns dos nervos descendentes do Cérebro vão para o Ouvido Médio, onde eles controlam os músculos usados na defesa contra os sons muito altos e prejudiciais ao sentido da audição.
As fibras nervosas levam sinais sonoros à diferentes partes do Córtex Auditivo dependendo da frequência que eles conduzem. O Córtex Auditivo situa-se em um profundo sulco chamado Fossa de Silvian. Os sons agudos terminam na parte mais interna da Fossa de Silvian, e os sons mais graves, mais perto da superfície.
Obs.: Na medicina Chinesa tradicional, existe uma estreita relação entre os rins e o ouvido. Nei Jing diz "O rim Qi passa através do ouvido; se o rim está em harmonia, o ouvido pode ouvir os cinco tons". Muitos problemas do ouvido são tratados através dos rins.

19 - Sobreposição dos Sons

O Tímpano se move em resposta as variações de pressão do ar no canal auditivo. Se ele oscilar seguindo um puro Movimento Harmônico Simples (fig.1, pág.3) de uma determinada frequência e amplitude, ouviremos um som correspondente à frequência e potência daquela onda. Se dois sons com características diferentes são apresentados juntos, o sistema auditivo reaje como se o Tímpano tivesse recebido dois comandos independentes simultaneamente, sendo cada um dado por um tipo de Tom.
Se a amplitude dos sons não for muito alta, o movimento resultante do Tímpano, e todos os outros componentes vibrantes, será a soma dos movimentos individuais que ocorreriam se cada onda estivesse presente sózinha, sem a presença da outra. Esta característica é chamada Sobreposição Linear de Duas Vibrações. Note que o Tímpano segue a oscilação definida pela curva resultante da soma das duas curvas básicas, mas não "sabe" que este padrão de vibração é resultado da soma de dois outros.

Este processo se torna mais complicado quando o padrão vibratório, que é a soma de dois outros, chega a Janela Oval e dá origem a dois grupos de ondas que passam pelo Fluido Coclear , uma para cada um dos tons componentes! Se a diferença de frequência entre os tons for bastante grande, as regiões de ressonância correspondentes da Membrana Basilar estarão suficientemente separadas uma da outra, e ouviremos dois sons separados com potência e tom correspondentes a cada um dos sons originais. Esta capaciade da Cóclea decompor um padrão de vibração complexo nos seus componentes originais é chamada: Disciminação de Frequência. É um processo mecânico controlado pelas propriedades elástica e hidrodinâmica dos componentes do Ouvido Interno.
No entanto, se a diferença de frquência entre os dois sons for menor do que uma certa quantidade, as regiões de ressonância da Membrana Basilar irão se sobrepor e será ouvido um tom intermediário, com potência médios ritimada ou modulada. Neste caso a região da Membrana Basilar, que será a sobreposição das duas frequências, seguirá um padrão de vibração essencialmente idêntico àquele do Tímpano. A variação da amplitude do padrão (curva quebrada) causa uma variação da potência percebida. Isto é chamado de Batida de Primeira Ordem.

20 - Sobreposição de Dois Sons de Igual Frequência e Fase

Este processo resulta em uma curva de mesma Frequência e Fase ,mas cuja Amplitude será a soma das Amplitudes das duas vibrações componentes. Se as duas vibrações componentes tiverem fases diferentes, a sobreposição será uma curva ainda com a mesma frequência, mas a Amplitude será a soma das suas Amplitudes no tempo. De modo particular, se a difernça de fase for 180 º , ambas as oscilações se anularão e nenhum som será ouvido. Este processo é chamado Interferência Destrutiva e é de fundamental importência nas leis da acústica de ambientes.

21 - Teoria Local da Percepção do Tom

Esta é a teoria clásica da precepção dos tons, desenvolvida por Gerorg von Békésy em 1947 e sugere que , no ouvido interno, diferentes pontos da Membrana Basilar sofrem um deslocamento máximo em função da frequência. Os neurônios, ao atingirem este ponto máximo, disparam a carga elétrica através dos nervos. Por isso, cada neurônio seria responsável por uma frequência particular. Para um tom puro, a exitação na Membrana Basilar estaria limitada a uma única posição correspondente àquela frequência. Para um tom complexo, haveria um padrão de exitação correspondente à frequência fundamental e a cada um dos harmônicos. Mas essa teoria é falha, porque o padrão de exitação da Membrana Basilar não pode estar no máximo para a posição que correspone à fundamental, enquanto esta ainda está sendo ouvida. Além disso, para tons de 400 Hz , ou abaixo disso, a onda sonora estimula toda a Membrana Basilar igualmente. e nós podemos ouvir sons de até 20 Hz. Algum outro processo deve estar envolvido.

22 - Teoria Temporal da Percepção do Tom

É similar a Teoria Local só que o Tempo é a variável principal.
Ela estabelece que a Membrana Basilar se move num vai e vem em sincronicidade com a onda sonora. Cada movimento desse faz com que os neurônios da Membrana Basilar disparem, resultando em uma sequência de

disparos baseada na localização do neurônio e no intervalo desses disparos. O padrão temporal emergente especificaria um frquência particular.
A falha desta teoria está no fato que os neurônios não podem disparar mais do que 1.000 vezes por segundo, limitando esta teoria aos sons abaixo de 1.000 Hz, e nós podemos ouvir tons de até 20.000 Hz. Por isso a Teoria Temporal não pode explicar totalmente o processo da percepção dos tons. É provável que uma combinação das duas teorias trabalhem para o contrôle da percepção dos tons.

23 - O Problema da Perda da Fundamental

Um problema que estas Teorias da Percepção dos Tons não podem explicar, é o da Perda da Fundamental. O sistema auditivo procesa todas as partes de um som complexo quando ela interpreta um som que chega, não apenas a frequência fundamental (a não ser quando se trate de um som com forma de onda pura ou sons com frequência muito alta). Mas não é necessário que todas as partes do tom complexo estejam presentes, nem mesmo a fundamental, para que o ouvinte perceba o tom correto. Um julgamento correto pode ser feito mesmo que apenas alumas partes superiores do tom sejam apresentadas ao ouvinte. O sistema auditivo parece calcular qual será a fundamental apenas por aquelas partes! Isto foi descoberto por Schouten em 1940.
Esta evidência implica em que o reconhecimento de um tom, não requer o estímulo da Membrana Basilar no ponto correspondente à Frequência Fundamental.

I - Introdução / II - Conceitos / III- Percepção /IV - Fisiología do ouvido /V - Psicofísica da Percepção do Tom /VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom /VII - Teorias da Consonância e Dissonância / VIII - Fim

VI- Fatôres que Afetam a Precepção do Tom

Os tres principais fatôres que a fetam apercepção do tom são: Frequência, Intensidade e Timbre. Dos tres a Frequência é o mais importante. Há uma relação não linear entre o tom percebido e a frequência. O tom é uma função logarítmica da frequência. O tom é medido em "mels", uma escala subjetiva, onde um tom de 1.000 Hz com uma potência de 40 dB tem a medida definida de 1.000 mels. Partindo de 1.000 Hz, se a frequência é aumentada 9 vezes, para 9.000 Hz, o tom é aumentado em apenas 3 vezes, para 3.000 mels. Similarmente, se a frequência é diminuida em 1/6, para 167 Hz, o tom é diminuído em apenas 1/4, para 250 mels. Criar um grupo de sons com uma divisão igual de tons fazendo apenas com que eles tenham uma relação entre suas frequências e seus tons não é possível porque a relação entre tom e frequência não é linear.

24 - Relação Entre Tom e Frequência

A percepção do tom é afetada pela Intensidade. Abaixo de 2 kHz, a perçepção do tom aumenta com o aumento da intensidade. Acima de 2kHz, a percépção do tom diminui com o aumento da intensidade. O Timbre também afeta a percepção do tom. Sons "brilhantes" (aqueles com uma quantidade relativamente grande de alta frequência) soam mais "altos" do que sons "sombrios". Isto é importante se dois tons de igual frequência mas timbres diferentes forem comparados. Suas alturas podem soar diferente onde seria esperado que fossem iguais. Nós podemos detectar mudanças muito pequenas na afinação. Gelfand mostrou que esta capacidade se torna maior com o aumento da frequência e diminui com a diminuição da frequênias. Para um som com 4kHz a 40 dB, a diferença necessária será aproximadamente 16Hz (se mudarmos a intensidade este valor também mudará). Para um som com 8 kHz com 40 dB, a diferença necessária será aproximadamente 68 Hz. Para que a diferença de tom seja percebida, a diferença na afinação deve ser maior do que a diferença de frequência necessária para aquela frequência. A extensão máxima e mínima da diferença de frequência necessária, também varia com a idade. Crianças podem, no seu ótimo rendimento, ouvir tons de 20 Hz à 20 kHz. Aos 30 anos, um adulto consegue ouvir frequências não mais altas do que 18 kHz. Aos 50 anos, o limite é 14 kHz e aos 70, 10 kHz. Um sistema de sons, para ser percebido por uma população em geral, deve produzir tons que estejam acima de 130 Hz e abaixo de 5 kHz. Embora alguns ouvintes sejam bons em detectar pequenas diferenças de tom, eles não são bons em fazer julgamentos absolutos de afinação, a menos que tenham ouvido absoluto (Moore sugere que apenas 1% da população tem esta habilidade). Outro problema importande é a surdez para o tom. É quando alguém percebe a diferença de tom, quando essa diferença exede uma determinda diferença

mínima de frequência, mas é incapaz de dizer se em que direção o tom se moveu, se para o mais agudo ou se para o mais grave; ou mesmo não consegue dizer qual dos dois tons é o mais agudo e qual o mais grave.

Uma tendência que parece ser natural, principalmente em crianças,é o fato de que tons agudos, com frequência mais alta, parecem se originar de uma fonte que estaria verticalmente mais alta no espaço do que quando comparados com tons mais graves.

25 - Percepção da Potência (Loudness)

A potência está relacionada com a intensidade de um som e é percebida como o volume do som. A intensidade é definida como a amplitude da onda sonora, é o volume físico do som. A amplitude da onda cusa a estimulação da Membrana Basilar na posição definida pelo tom (pitch) do som. A potência percebida é medida em Sones. Um Sone é igual à potência de um som com 1.000 Hz a 40 dB. Dobrar o níve de Sone equivale a dobrar a potência do tom percebido. Decibéis são usados para medir a intensidade física. ë a razão logarítmica entre dois víveis, um dos quais é o nível de referência. Um nível de referência padrão é o Nível de Pressão Sonora (SPL - Sound Pressure Level), que equivale a 20mPa. Isto corresponde ao limiar da audição normal.
O ouvido tem um enorme grau de sensitividade. O som mais intenso que um ser humano consegue aguentar é de 120 dB a mais do que o mínimo que consegue ouvir, uma razão de 1.000.000.000.000:1.

26 - Fatôres que Afetam a Percepção da Potência

Os tres principaos fatôres que afetam a percepção da potência do som são: Frequência , Intensidade e Máscara (Masking).
Intensidade : A potência é proporcional a intensidade. Um aumento de 10dB na intensidade, causa uma duplicação na potência, por exemplo: Um aumento na intensidade de 40 dB para 50 dB causa um aumento na potência de 1 para 2 Sones. Próximo ao limiar da audição, um aumento mínimo na intensidade, resulta em um aumento muito maior na potência.

SOURCE	POWER (WATTS)	SOURCE	POWER (WATTS)
Orchestra (75 piece) @ fff	70	Orchestra (75 piece) @ mf	0.09
Bass Drum	25	Piccolo	0.08
Pipe Organ	13	Flute	0.06
Snare Drum	12	Clarinet	0.05
Cymbals	10	French Horn	0.05
Trombone	6	Triangle	0.05
Piano	0.4	Bass Voice	0.03
Bass Saxophone	0.3	Alto Voice (pp)	0.001
Bass Tuba	0.2	Average Speech [2]	0.000024
Double Bass	0.16	Violin (@ pppp)	0.0000038

Frequência: A frequência também afeta a percepção da potência do som. Este efeito pode ser experimentado alterando a ajuste dos controles grave e agudo de um amplificador estéreo.

Vamos comparar algumas intensidades necessárias para se perceber a mesma potência de som a 1.000 Hz com uma potência relativamente alta.
Para que um tom com 100 Hz soa tão forte quanto um de 1.000 Hz a 20 dB, ele precisaria esta com um nível de intensidade de 40 dB. Para um tom com 5.000 Hz, seriam necessários apenas 16 dB. Para frequências muito baixas (20 Hz à 100 Hz) e muito altas (acima de 7 kHz), níveis de intensidade muito maiores são necessários para fazer com que tenham um nível de potência como o dos sons de média frequência. Estes fatôres são importantes e devem ser considerados ao criarmos um sistema de sons, para ser apresentado à outras pessoas, que envolva diferentes frequências mas com uma mesma potência. A intensidade dos sons precisa ser ajustada de acôrdo com a mudança da frequência para se criar um efeito de onde se perceba uma "mesma potência" para todos os sons. Outro dado importante é que a potência é afetada também pela duração do som. Sons com duração menor do que 1 segundo podem ter sua potência aumentada com o aumento da duração desses sons.

Mascaramento: o mascaramento de um som por outro, eleva o nível do limiar do som mascarado, e uma grande potência é necessária para tornar o som mascarado tão potente quanto seria se não sofrêsse esse efeito, que se torna mais marcante quando os dois tons, têm a mesma frequência. Sons em uma Banda Crítica,

mascaram-se mais do que sons mais afastados.

Banda Crítica é uma região de frequência na qual a energia dos sons interagem, nela essa energia é somada. A vantagem dos sons complexos sobre os sons puros, é que eles são mais difíceis de serem mascarados, por causa da
grande quantidade de frequências que contém. "Pulsar" um som, também reduz as chances de que seja mascarado.

27 - Reconhecimento de Padrões Auditivos

Os sons não são reconhecidos apenas em forma de tom, intensidade e timbre, mas também em termos de origem da fonte sonora, fluxo, cada um dos quais com seus próprios timbres, tons e intensidades. Quando os sons~são percebidos como "fontes", estruturas de um nível mais alto podem usadas para identificá-los. Bregman, Willians e Deutsch expuseram alguns fatôres pelos quais os sons são agrupados como pertencendo a origem distintas. Aqui estão dois destes grandes grupos.
Fatôres Perceptivos para reconhecimento de padrões.

1- Similaridade e Diferença.
Precisamos considerar alguns desses fatôres para o agrupamento de sons como sendo de origem: similar ou distinta. Componentes que demosntram ter os mesmos atributos serão percebidos como relacionados e vice-versa. Os sons serão agurpados como sendo de uma origem comum se forem similares, i.e. tiverem tons, timbres, potência, posição e intensidades parecidos.
2- Proximidade.
Componentes que sejam próximos com relação ao tempo ou a frequência serão percebidos como estando relacionados, e vice-versa.
3- Continuidade.
Mudanças na intensidade ou frequência devem ser tranquilas e contínuas, para que determinados sons continuem a fazer parte de uma mesma fonte. Mudanças repentinas implicam em que novas fontes se tornaram ativas.
4- Coerência.
Ligados por uma bem estruturada "Continuidade", os componentes de uma fonte tendem a variar de maneira coerente, por exemplo, mudar de tom e intensidade juntos. Na música, uma modulação pode ser reforçada por um trêmolo ou vibrato do instrumento, para ajudar o ouvinte a identificar que aquele trecho está passando por uma transformação e uma nova fonte, separada da primeira está surgindo.
5- Frequência fundamental.
Se dois sons com frequências fundamentais diferentes são ouvidos juntos, os seus harmônicos não se confundem e serão percebidas duas fontes sonoras distintas. Se a fundamental for a mesma, a fusão dos harmônicos ocorrerá e os sons seão percebidos como pertencentes a uma única fonte.
6- Localização do som.
Sons originados de um mesmo local no espaço serão tidos como de fonte comum. Buxton, Gaver e Bly, sugerem que sons cujas fontes estão separadas no espaço ajudam o sistema auditivo a se concentrar em uma únuca fonte, mesmo apesar das "máscaras" provocadas por outros sons.
7- Rítmo.
Padões rítmicos tendem a ser percebidos como fontes. De acordo com Deutsch, o rítmo é um dos mais poderosos fatores físicos de reconhecimento de padrões.
Handel sugeriu alguuns métodos usdos para a criação de grupos rítmicos.
a) Se acentuarmos cada segunda ou terceira notas de um grupo de notas, então uma sequência de notas será percebida grupos de duas ou tres notas.
b)Acentuação da duração - uma nota longa termina um grupo. Se cada segunda ou terceira nota tem o seu valor aumentado,entào uma sequência de notas será percebida como agrupadas em duas ou tres notas, com a nota longa ao final do grupo.
c) Intervalos ou pausas - uma longa pausa a cada duas ou tres notas, causa a sensação de agurpamento a cada duas ou tres notas.

d) Diferença de frequência - tons afetam a percepeção dos grupos. Sequências de notas em tom agudo são percebidas como pertencentes a um mesmo grupo.
e) Agrupamento natural - grupos com duas, tres, quatro, cinco, seis ou sete notas são mais naturalmente percebidos como tal.
Handel sugere que esses parâmetros podem ser deixados de lado, desde que compensados por outros, para se criar padrões rítmicos complexos usados na música.
f) Escalas e estruturas tonais - os ouvintes usam seu próprioconhecimento de escalas e estruturas tonais para agrupar padrões de tons. Dewar, Cuddy e Mewhort descobriram que se pode fazer um julgamento bastante apurado das diferenças entre dois padrões de tons se todas as notas do primeiro pertencerem a uma escala diferente das notas do segundo. As pessoas podem detectar uma nota em um tom diferente em um grupo de notas muito facilmente.

28 - Efeito " Coquetel" (Cocktail Party)

Nós temos a habilidade de ouvir uma voz no meio de muitas outras, no meio de uma conversa, ou de vários ruídos. Na verdade o sistema auditivo humano pode discernir entre várias fontes sonoras. Este é o chamado Efeito Coquetel. Cada característica sonora é integrada com outros sons no ambiente, para criar a pressão da onda que chega em nosso sistema de percepção auditivo. O sistema perceptivo usa uma característica do som para extrair cada fonte sonora da pressão da onda, sendo que alguns dos aspectos usados para esse feito são: a similaridade dos sons, a orígem da fonte sonora, a continuidade e o rítmo dos sons.

29 - Difernça Mínima Evidente (JND - Just Notiiceable Difference)

Há um limite natural na habilidade individual em estabelecer uma ordem relativa de tons quando dois tons puros de mesma intensidade são apresentados um depois do outro. Quando a diferença de frequência entre os dois sons é muito pequena, ambos são julgados como tendo o mesmo tom. Isto é válido para os julgamentos em todas as magnitudes psicológicas. Sempre que a variação de um estímulo físico é menor do que um certo limite (JND), ou a diferença mínima evidente, a sensação associada é julgada como sendo a mesma. Assim que a variação exeda a diferença mínima evidente, a sensação de mudança é detectada.

30 - Tom Residual ou Tom Virtual

Um tom harmônico completo, tal como o produzido pela voz humana ou um instrumento musical, por exemplo, pode ser analisado em suas frequências fundamental ou parciais, as quais são múltiplos da frequência fundamental. A forma de onda combinada, reproduz a frequência fundamental.
Na audiçao holística normal, nós ouvimos o tom da frequ6encia fundamental como a afinação de um tom.
O que acontecerá se a fundamental for perdida, devido a um mascaramento por ruído ou a um sistema não apropriado de reprodução, como um telefone ou um rádio de bolso, por exemplo?
Geralmente, nós continuaremos ouvindo o tom da fundamental emora ela não esteja lá. Este fenOmeno é conhecido como Tom Residual ou Tom Virtual e foi descoberto na primeira metade do sec.XX: Seebekusou uma sirene para gerar vários padr!ões periódicos de sôpros, e descobriu que o tom ouvido correspondia ao que nós chamamos hoje de "período da onda". Ele acreditava que o cérebro analisava a informação temporal para determinar o tom. Esta foi a primeira Teoria da Periodicidade da percepção do tom. Helmholtz e seus seguidores achavam que o tom da fundamental era gerado pelo próprio ouvido, mas essa hipótese foi refutada por Schouten e outros.
Por volta de 1960, J. F. Schouten, fazendo experiências com um modulador de amplitudes de ondas, mostrou que um tom grave pode ser percebido quando apenas umpequeno número de harmônicosparciais altos estavam presentes. Por exemplo: ao se tocar os harmônicos 9, 10 e 11 de um tom fundamental de 200 Hz
(respectivamente 1.800, 2.000 e 2.200 Hz), o tom fundamental era percebido. Comcluímos que o cérebro está tentando trazer uma resposta para qual o tom é a fundamental. Mas por que?

60;FONT size=-1>I - Introdução / II - Conceitos / III- Percepção /IV - Fisiología do ouvido /V - Psicofísica da Percepção do Tom /VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom /VII - Teorias da Consonância e Dissonância / VIII - Fim

VII - Teorias da Consonância e Dissonância

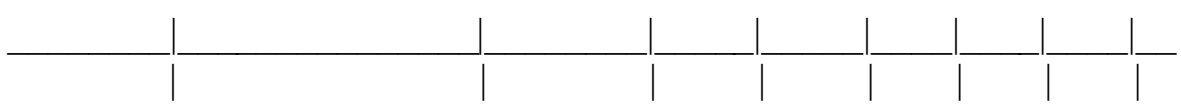
31 - Conceitos de Consonância e Dissonância

Estes termos, ainda hoje, não são considerados absoluto, mas há um meio de classificar os tons em relação um ao outro. Quais são os sons consonantes ou dissonantes em relação um ao outro, varia de acordo com o ambiente cultural, tempo e gosto. Na cultura ocidental estes termos variam de acordo com o treinamento musical.

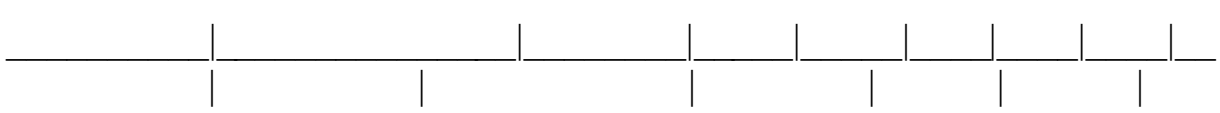
32 - Teoria de Helmholtz Beat (Theory of Consonance and Dissonance)

Como já fo visto antes, um tom complexo se caracteriza por seus harmônicos ou estrutura de sobreposição dos sons. Quando dois ons complexos são tocados juntos (como um intervalo), os harmônicos de cada um estão presentes nos estímulos que chegam às nossas orelhas. Para alguns as frequências harmônicas combinam, para outros não.

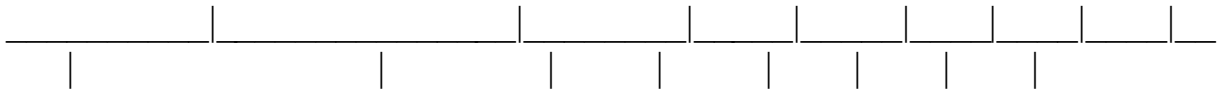
Os Harmônicos dos sons uníssonos se combinam perfeitamente, (emboram na prática isso dependa dos instrumentos utilizados),



sendo esse o intervalo considerado o mais consonante. O intervalo de 5º perfeita mostra alguns harmônicos combinando, outros não.



O intervalo de Tom, mostra que nào há sobreposição de nunhum harmônico.



Tambem pode acontecer de algumas frequências estarem tão próximas, que ouviríamos uma série de batidas (os Beats) como resultado.

A teoria dos Beats de Helmotz sustenta que são a esses Beats que o nosso sistema auditivo responde, e como resultado consideramos o intervalo de Tom mais dissonante do que o de Quinta, e este mais dissonante que o de uníssono etc...

Análises desses e de outros intervalos mostra que nos termos dessa teoria uma indicação de quanto um intervalo seja dissonante pode ser julgado com um alto grau de exatidão matemática.

33 - Teoria de Plomp

http://online.amu.edu.au/ITA/ACAT/drw/PpofM/consonance/con2.html

Baseado em uma série de experimentos no julgamento sobre consonância e dissonância, Plomp concluiu que duas frequências de tom puro que se encontrem fora da Banda Crítica , são julgadas como sendo consonantes. Este esperimento revelou que o intervalo mais dissonante é aquele cujas frequências de tom puro estão separadas por 25% da Banda Crítica.
Na verdade, frequências com diferençasentre 5% a 50% de suas Bandas Críticas, serão julgadas como dissonantes.

Ex. 1) Examinando uma Quinta Justa , C = 262Hz e G = 392Hz
a) Encontrar a frequência central (média entre as duas frequências dadas): 262 + 392 = 654 / 2 = 327Hz(Frequência Central).

b) A Banda Crítica para 327Hz é 100Hz (ver tabela abaixo)
c) Como a diferença máxima entre as frequências é de 50% da frequência central, a esta (no caso 327Hz) é somado e subtraído 50% do valor da sua respectiva Banda Crítica(100Hz): 327 + 50Hz = 377Hz. 327 – 50 = 277Hz. Isto significa que para qualquer par de tons que estejam entre 277Hz e 377Hz, nós os julgaremos como dissonantes.

Freq."G".....392Hz
Banda.....377Hz
Crítica..... 277Hz
Freq."C".....262Hz

Como as frequências dades se encontram fora dessa Banda Crítica, os intervalos serão consonantes.

Ex. 2) Examinando uma Segunda Maior C = 262Hz e D = 294Hz
a) Encontrar a frequência central (média entre as duas frequências dadas): 262 + 294 = 556 / 2 = 278Hz(Frequência Central).
b) A Banda Crítica para 278Hz é 100Hz (ver tabela abaixo)
c) Como a diferença máxima entre as frequências é de 50% da frequência central, a esta (no caso 278Hz) é somado e subtraído 50% do valor da sua respectiva Banda Crítica(100Hz):
d) 278 + 50Hz = 328Hz. 278 – 50 = 228Hz.
Isto significa que para qualquer par de tons que estejam entre 228Hz e 328Hz, nós os julgaremos como dissonantes.

B.C.....328Hz
Freq."D" 294Hz
Freq."C".....262Hz
B.C..... 228Hz

Como as frequências dadas se encontram dentro dessa Banda Crítica, os intervalos serão dissonantes.

Exemplos de Bandas Críticas

Number	Centre Frequency (Hz)	Critical Band (Hz)	Lower Cutoff Frequency (Hz)	Upper Cutoff Frequency (Hz)
1	50	-	-	100
2	150	100	100	200
3	250	100	200	300
4	350	100	300	400
5	450	110	400	510
6	570	120	510	630
7	700	140	630	770
8	840	150	770	920
9	1000	160	920	1080
10	1170	190	1080	1270
11	1370	210	1270	1480
12	1600	240	1480	1720
13	1850	280	1720	2000
14	2150	320	2000	2320
15	2500	380	2320	2700
16	2900	450	2700	3150
17	3400	550	3150	3700
18	4000	700	3700	4400
19	4800	900	4400	5300
20	5800	1100	5300	6400
21	7000	1300	6400	7700
22	8500	1800	7700	9500
23	10500	2500	9500	12000
24	13500	3500	12000	15500

I - Introdução / II - Conceitos / III- Percepção /IV - Fisiología do ouvido /V - Psicofísica da Percepção do Tom /VI- Fatôres que afetam a Percepção do Tom /VII - Teorias da Consonância e Dissonância / VIII - Fim

---

Glossário