

Comunicação Sonora Animal

Maria Luisa da Silva – UFPa
silva.malu@uol.com.br



O que é bioacústica ?

- Definição
 - É o estudo da comunicação sonora animal
- É um ramo da zoologia estreitamente ligado à física e à matemática: sons estão submetidos às leis da acústica e a comunicação é regida pelos princípios da teoria da informação.
- Etologia
- fisiologia
- neurociências
- Ecologia
- evolução e a ontogenia da comunicação sonora
- Filogenia
- ciências humanas.

Histórico

Expedição Langsdorf – 1825-1829

- Hercule Florence, registrou cantos de pássaros a partir de transcrições musicais

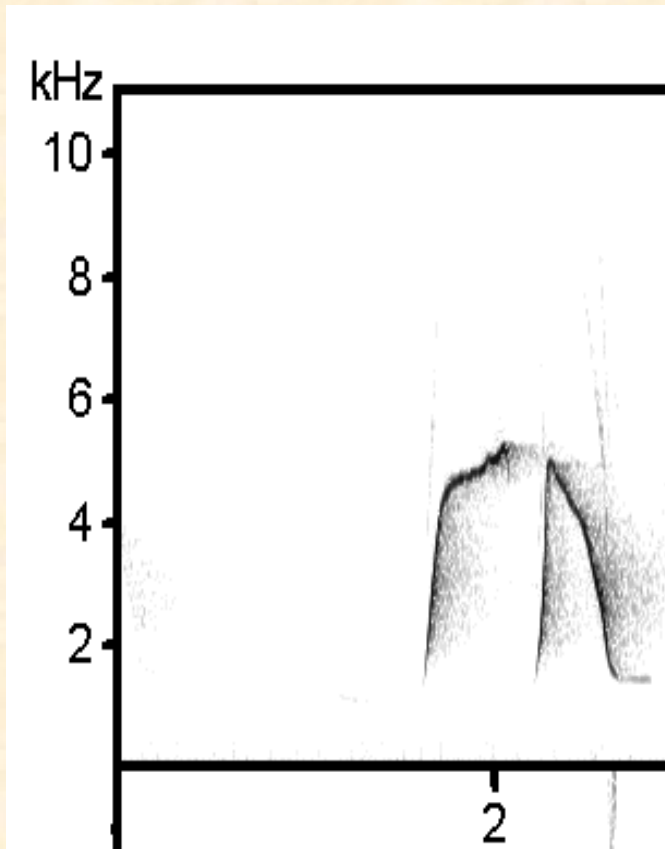
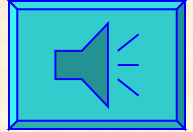



Fig. 2. *Le Chant du Tropeiro* 86



Dans cette figure on voit deux notes sur le même barreau, elle ne veut pas dire qu'il faille les faire entendre ensemble, comme dans la musique de guitare. Si forte piano, elle veut dire qu'il faut quitter brusquement celle d'en haut et prendre celle d'en bas, et réciproquement, s'il arrivait que dans deux notes placées sur le même barreau d'en bas, on la quittât pour prendre brusquement celle d'en haut.

Le Chant

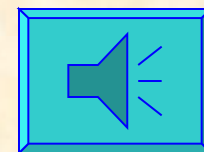
Fig. 2. Canto do Tropeiro (f. 86 do Ms.).

Histórico

- O trabalho dos amadores na década de 60
- Johan Dalgas Frisch foi o primeiro a gravar o canto do Uirapuru *Cyphorhinus arada*

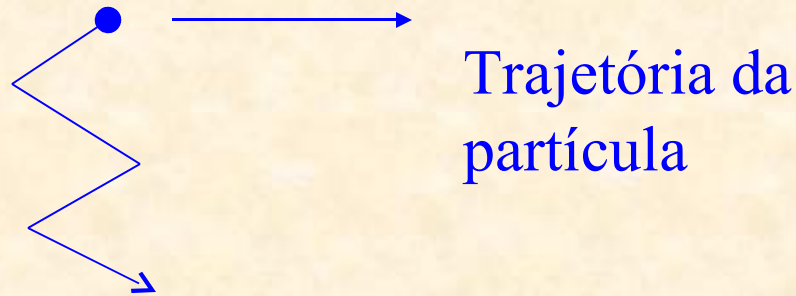


Frisch, 1961



O que é som?

- Som é um fenômeno físico onde ocorre vibração periódica longitudinal de qualquer partícula de um meio.

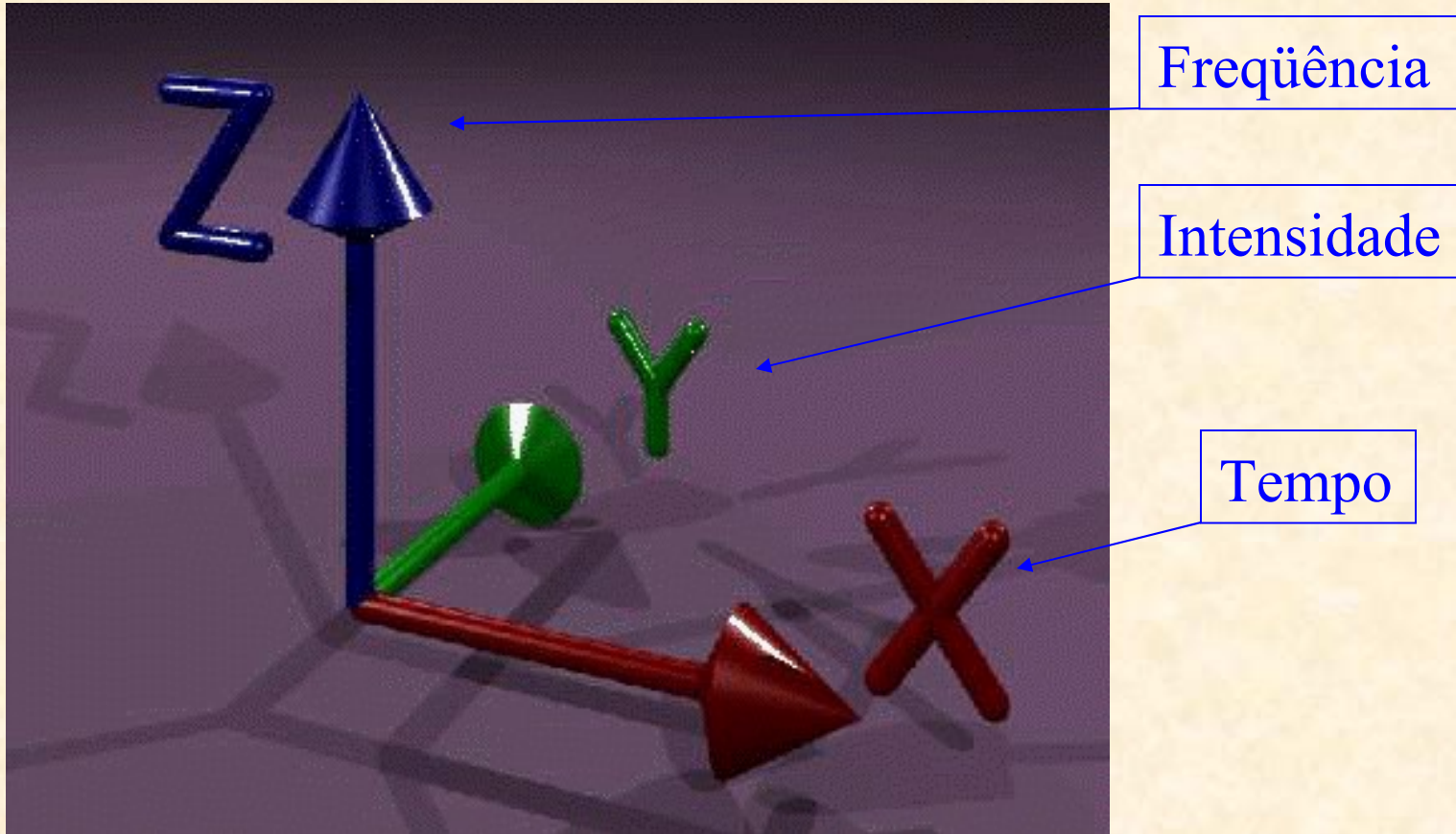


- O Som se propaga em meios materiais em forma de ondas.
- É uma vibração mecânica que impressiona o aparelho auditivo íntegro.
- É necessário que haja um suporte material, pois o som não se propaga no vácuo.

Parâmetros do Som

- O som é definido por apenas três parâmetros:
- O **período** é o tempo de vai e vem – em s ou ms
- A **freqüência** representa o número de ciclos em um s
 - a freqüência é o inverso do período e é dada em Hz ou kHz
 - $F = 1/P$.
 - a unidade de tempo segue uma escala linear, positiva e com início em 0.
- A **amplitude ou intensidade** é o valor da pressão, dada pela duração do deslocamento da molécula.

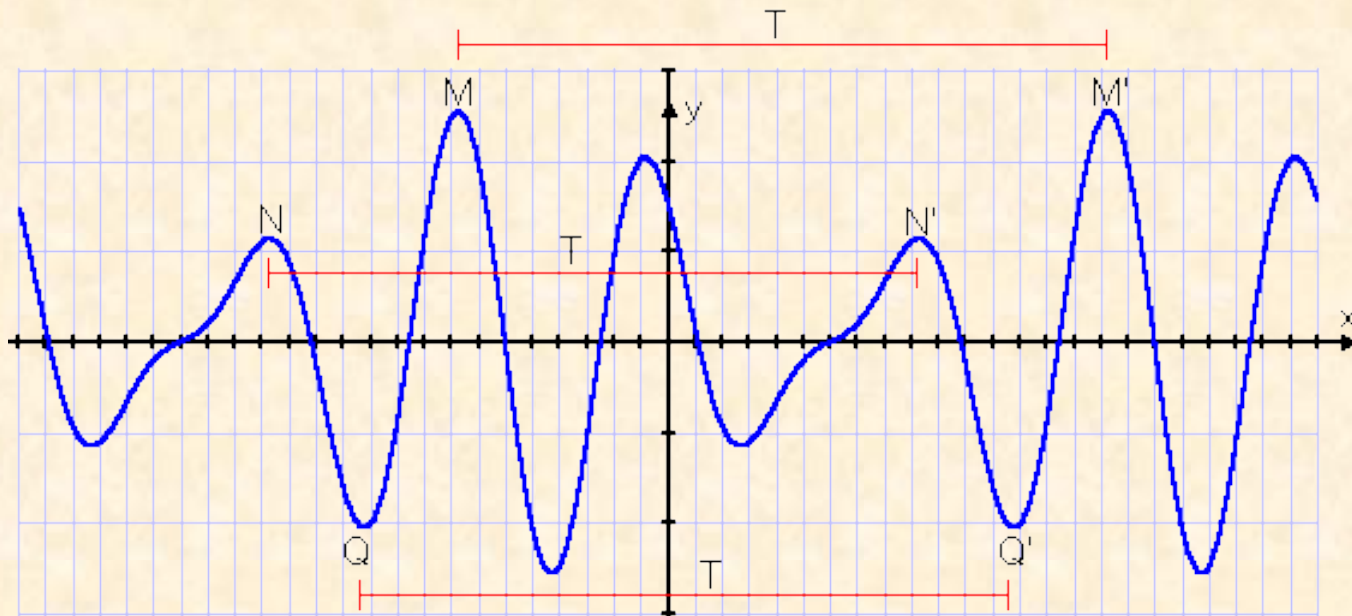
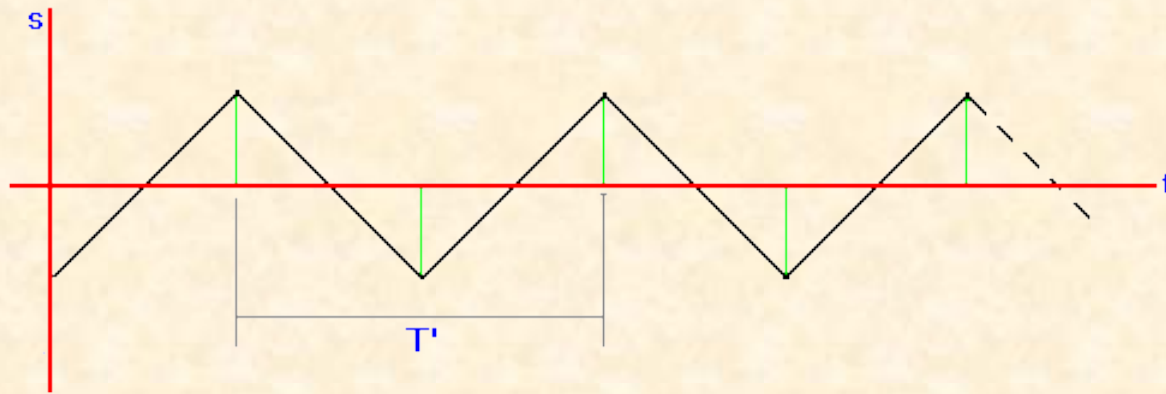
Os três parâmetros que definem o som



O som é um fenômeno periódico

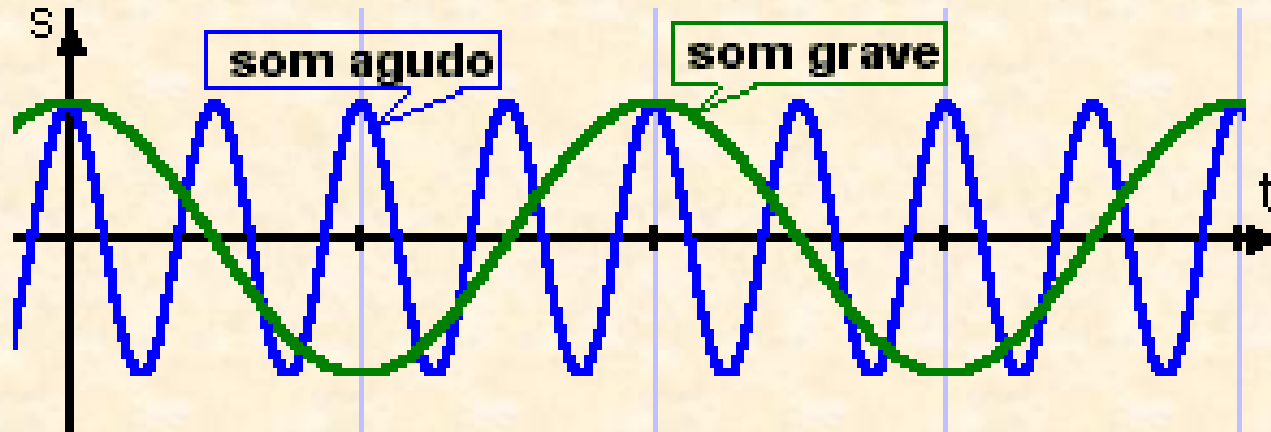
- São fenômenos que se reproduzem identicamente em intervalos de tempo sucessivos e iguais;
- O tempo T desses intervalos é chamado período;
- O número de vezes que o fenômeno se repete por unidade de tempo é chamado frequência (f).
- A sucessão das fases de um período constitui um ciclo.

Período

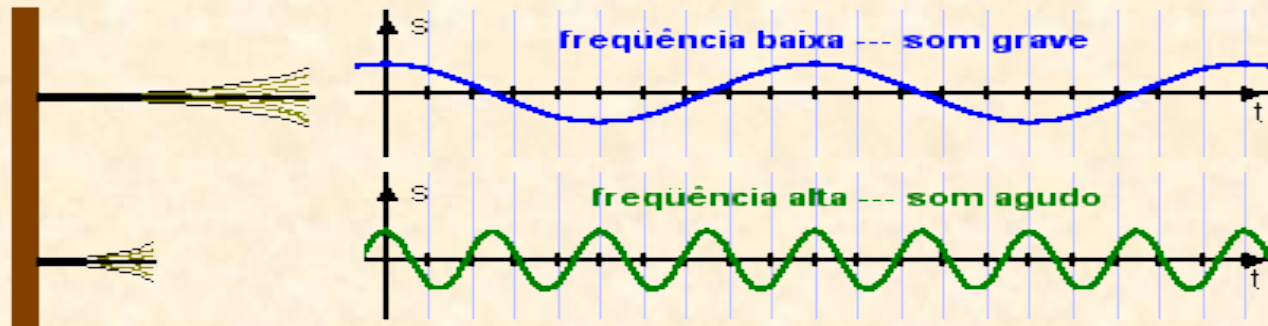


Exemplos de pontos de mesmo estado oscilatório: M e M' , N e N' , Q e Q' .

Som agudo e grave



Frequências das vibrações de uma partícula do campo ondulatório (meio).

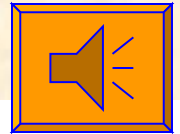
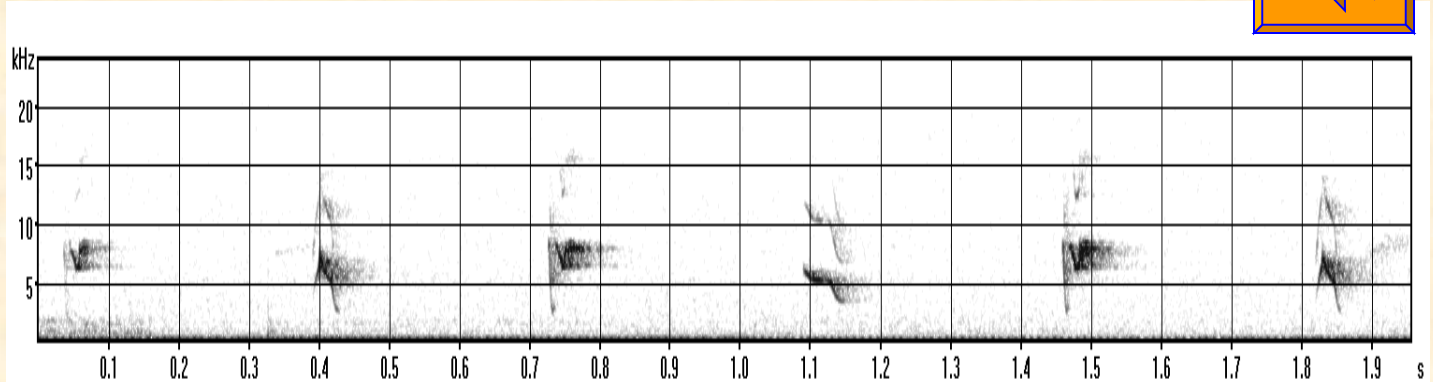


Escala das ondas mecânicas - Frequência

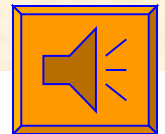
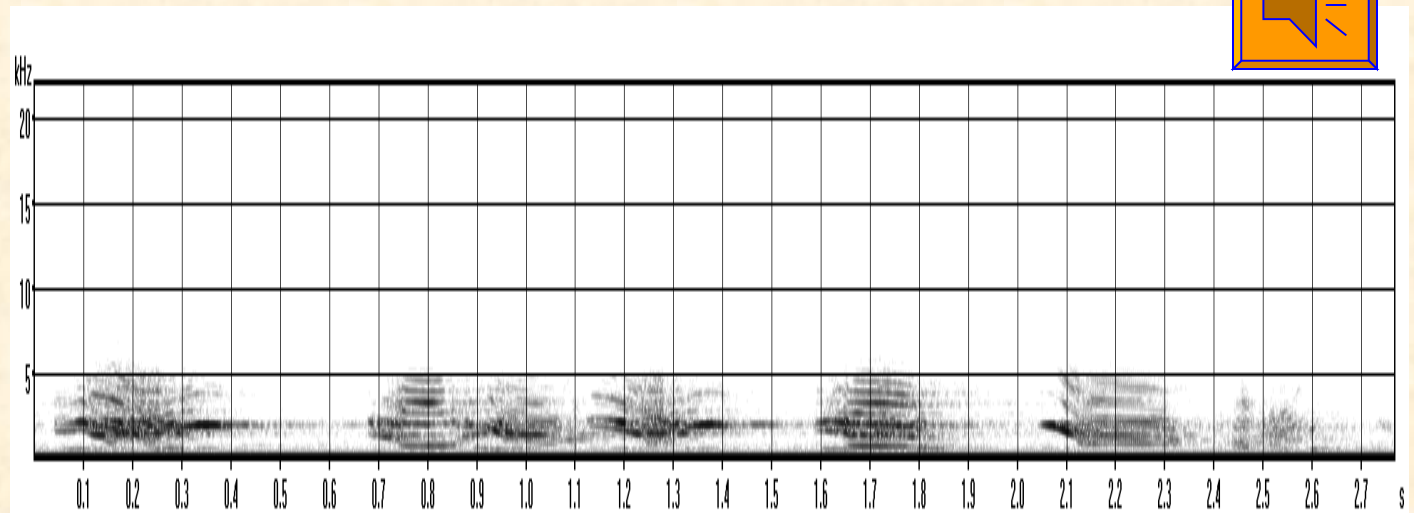
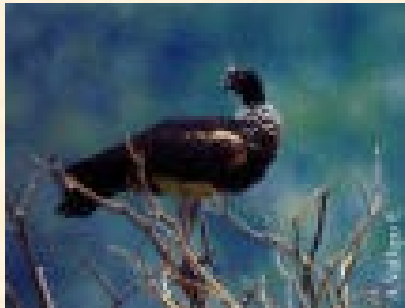
Frequência	Denominação	Métodos de excitação	Aplicação
0,5 - 20	Infra-sons	Vibração da água em grandes reservatórios, batidas do coração, Baleia-azul, Elefante	Prognóstico do tempo, diagnóstico de doenças do coração.
20 - $2 \cdot 10^4$	Sons audíveis	Voz humana e da maioria dos animais, instrumentos musicais, apitos, alto-falantes	Para comunicação e sinalização, assim como para a medição de distâncias.
$2 \cdot 10^4$ - 10^{10}	Ultra-sons	Emissores magnéticos e piezoelétricos, apitos de Galton, também são excitados por alguns animais e insetos (morcegos, grilos, gafanhotos etc.)	Detecção submarina por eco, limpeza e detecção de defeitos em peças e estruturas de construções, aceleração de reações químicas, investigação em medicina, biologia e física molecular.

Som agudo e grave

Som Agudo



Som Grave



Amplitude

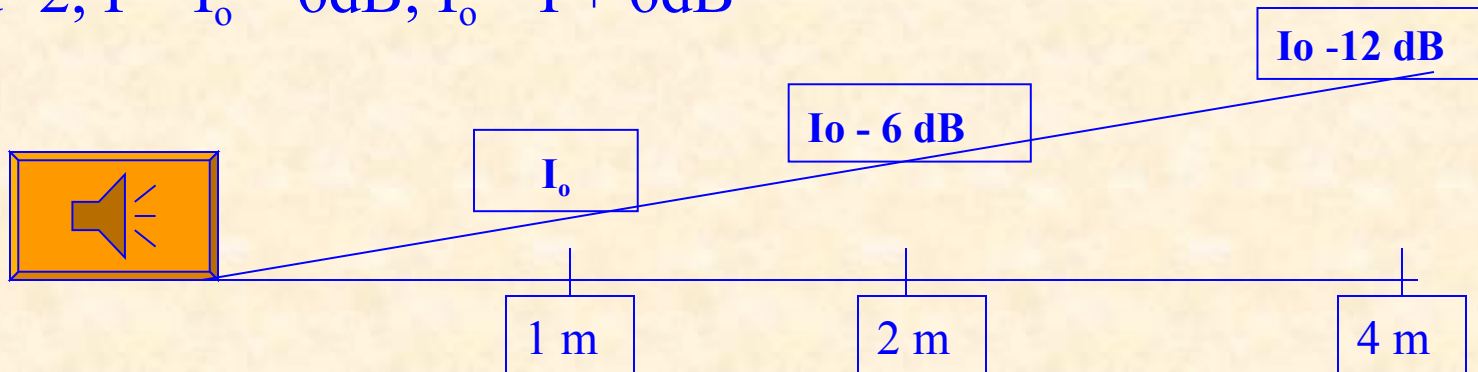
- O valor da pressão do som é uma unidade composta por peso e deslocamento dada por Watt/m^2
- Valor mínimo audível é de $2 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2$
- $2 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2 - \log 10 = 1 \text{ Bell}$ ou -10dB
- É uma unidade logarítmica; cada vez que a unidade de pressão é multiplicada por 10 acrescenta-se 1 Bell, o que equivale, se for multiplicado por 2, ao acréscimo de 3dB .

Amplitude

A intensidade $I = I_0/d^2$

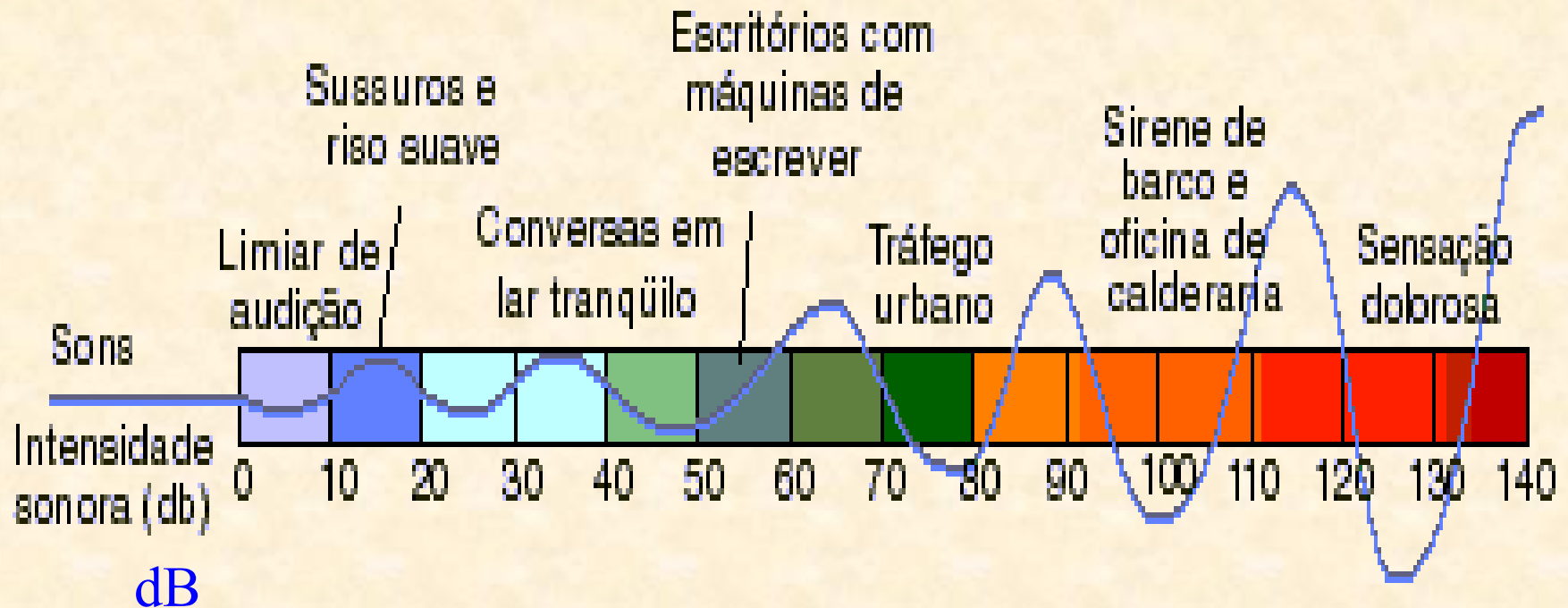
Onde d = distância, I_0 = intensidade de referência a 1 m da fonte

- $I = I_0/d^2$
- $I_0 = I \cdot d^2$
- Se $d=2$, $I = I_0 - 6\text{dB}$; $I_0 = I + 6\text{dB}$

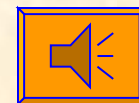


Amplitude

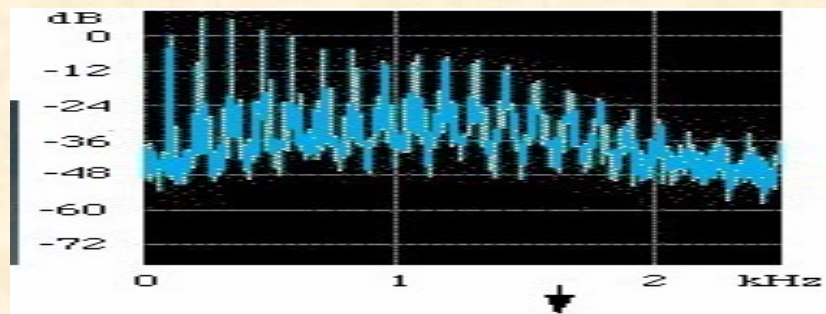
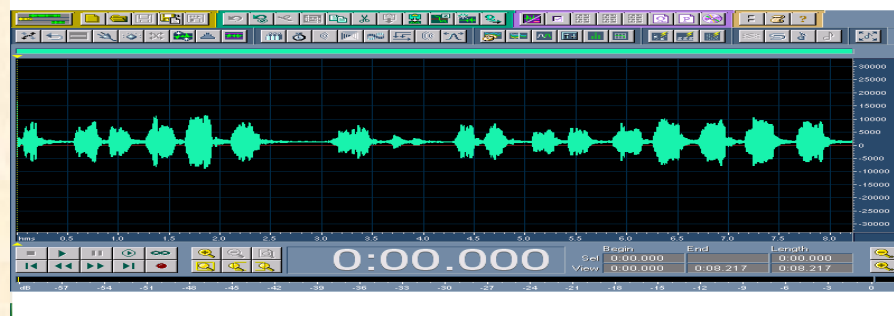
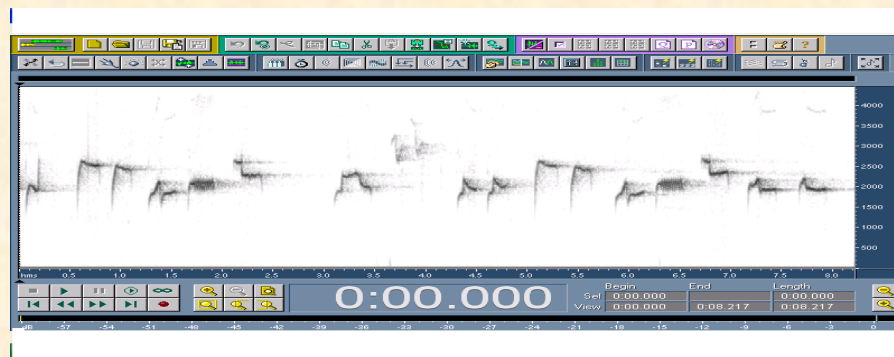
- A **intensidade fisiológica do som** esta ligada à **amplitude** das vibrações (e, portanto à energia transportada pela onda sonora); é a qualidade pela qual um **som forte** (grande amplitude - muita energia) se distingue de um **som fraco** (pequena amplitude - pouca energia).



Dimensões

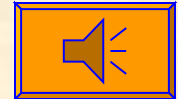


Cada parâmetro físico define uma dimensão



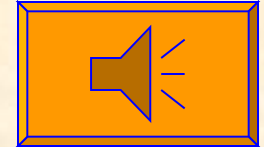
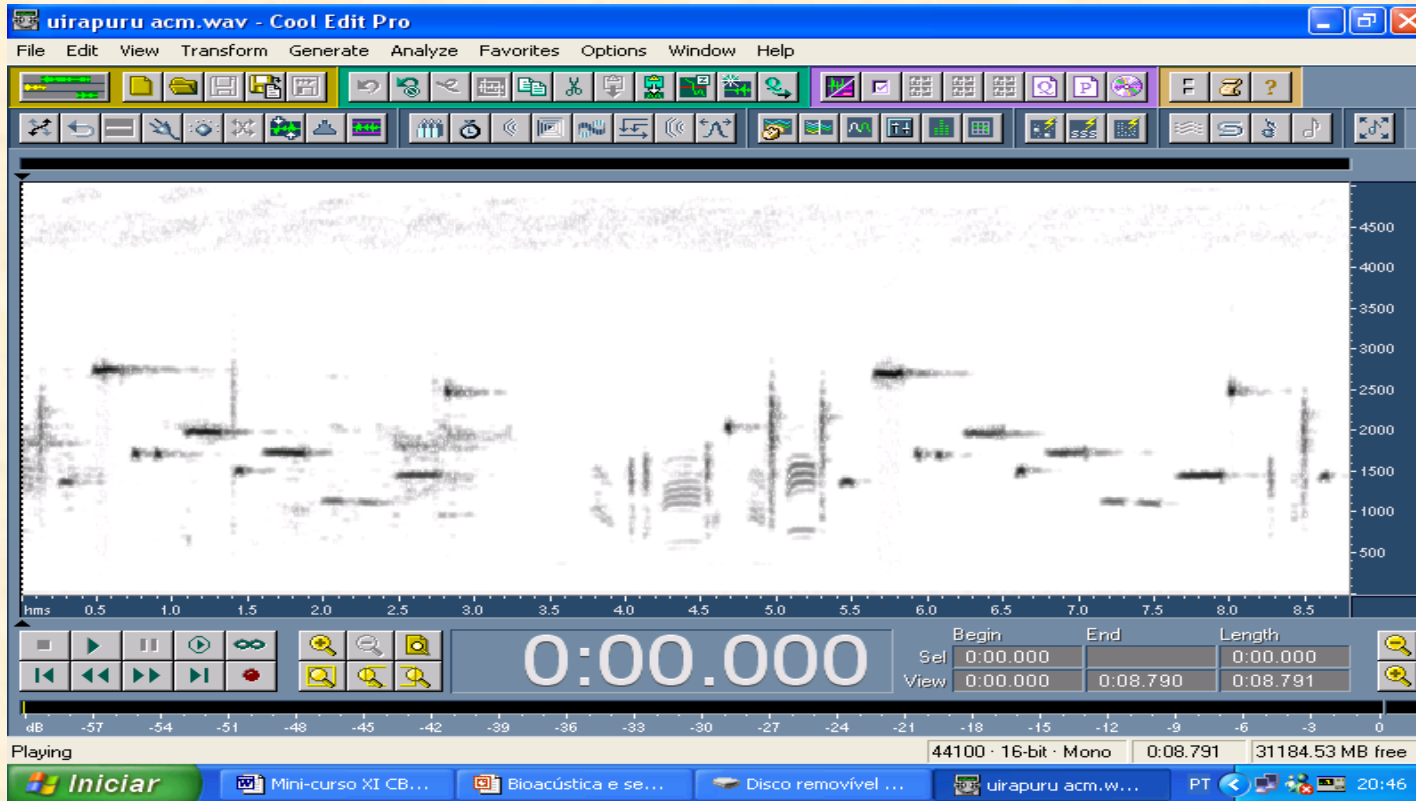
O Problema

- O som é facilmente registrado
- Facilmente manipulado
 - Mas não é fácil produzir e interpretar um sonograma em um plano melódico



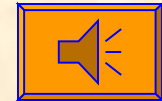
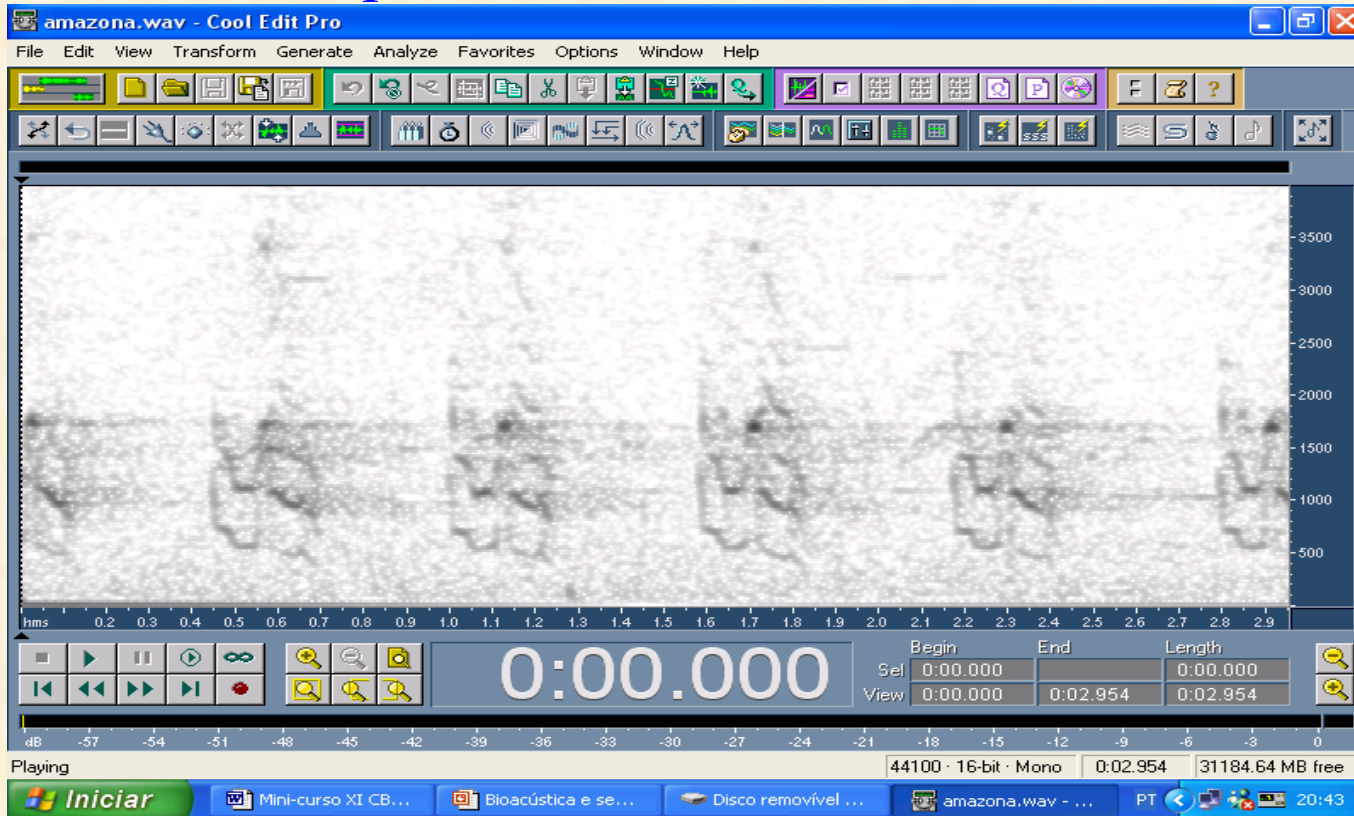
Frase do canto de *Turdus
fumigatus*

Sons puros

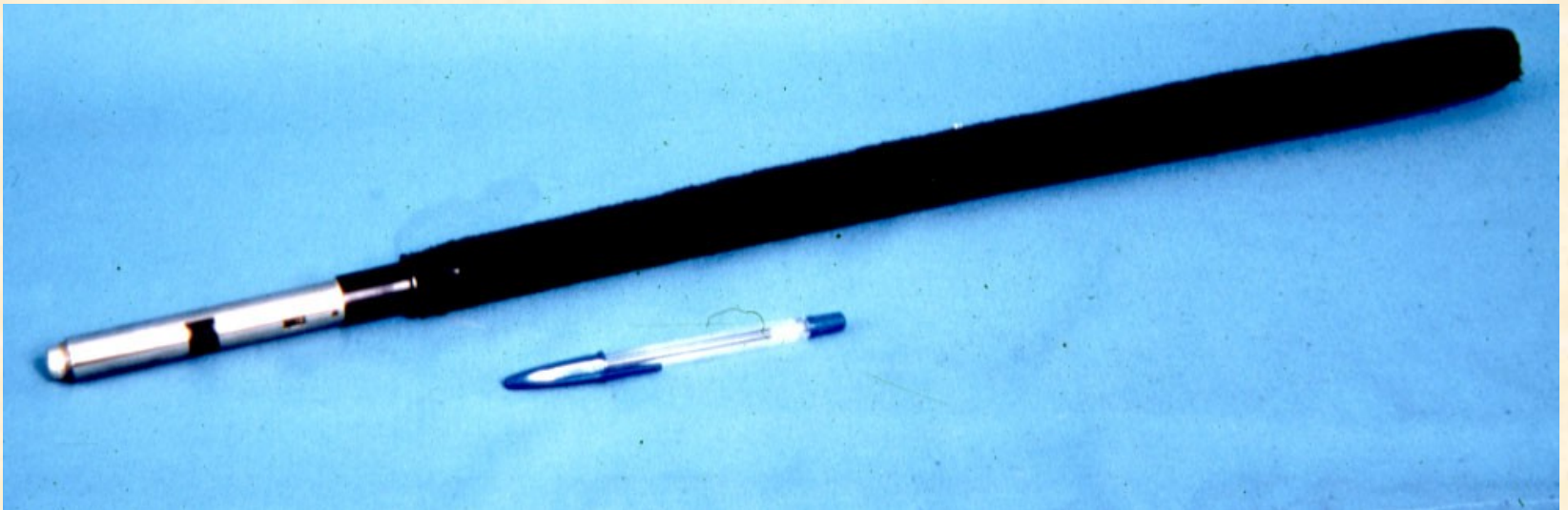


Harmônicos

Definição física: fenômeno periódico cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência do outro. Se o canto não apresenta harmônico, 100% da energia está na frequência fundamental, é o chamado som puro



Microfone ultradirecional Sennheiser ME 88



Equipamento de gravação com parábola



Gravador portátil de rolo Nagra III



Gravador digital



Gravador portátil digital
TASCAM

Gravador portátil digital
Sony DAT (TCD-D8)



Gravador digital – Compactflash



- Marantz PMD-671 - Hi-Resolution Compact Flash Field Recorder
- Resolução de Gravação de 24-bit/96 kHz grava em formatos MP3, MP2, WAV, and BWF
- Peso: 1,3 kg. 8 pilhas AA 1,5v.
- Preço: US\$ 1.000,00

O que é comunicação?

- Para os seres vivos, a comunicação é uma necessidade básica
- É através da comunicação que macho e fêmea interagem na corte, que os rivais resolvem suas disputas sem o confronto direto e, freqüentemente, os filhotes conseguem alimento de seus pais” Dawkins (1989)
- “virtualmente a descrição da própria vida” Beer (1982)
- Segundo Morton (1977), “comunicação é o meio pelo qual os animais em uma população ajustam, em última instância, as suas relações sociais às várias flutuações ambientais e fisiológicas”.
- Krebs e Davies (1996) caracterizaram a comunicação como o processo em que os emissores usam sinais ou exhibições especialmente modelados para modificar o comportamento daqueles que os captam.

Comunicação

- É a essência da vida animal
- Pode ser visual, acústica, química, elétrica ou táctil
- A escolha da modalidade de comunicação utilizada por determinada espécie depende das limitações do seu sistema sensório-motor e deve ser ecologicamente apropriada.

Comunicação visual e olfativa

Urubu-rei

Sarcoramphus papa

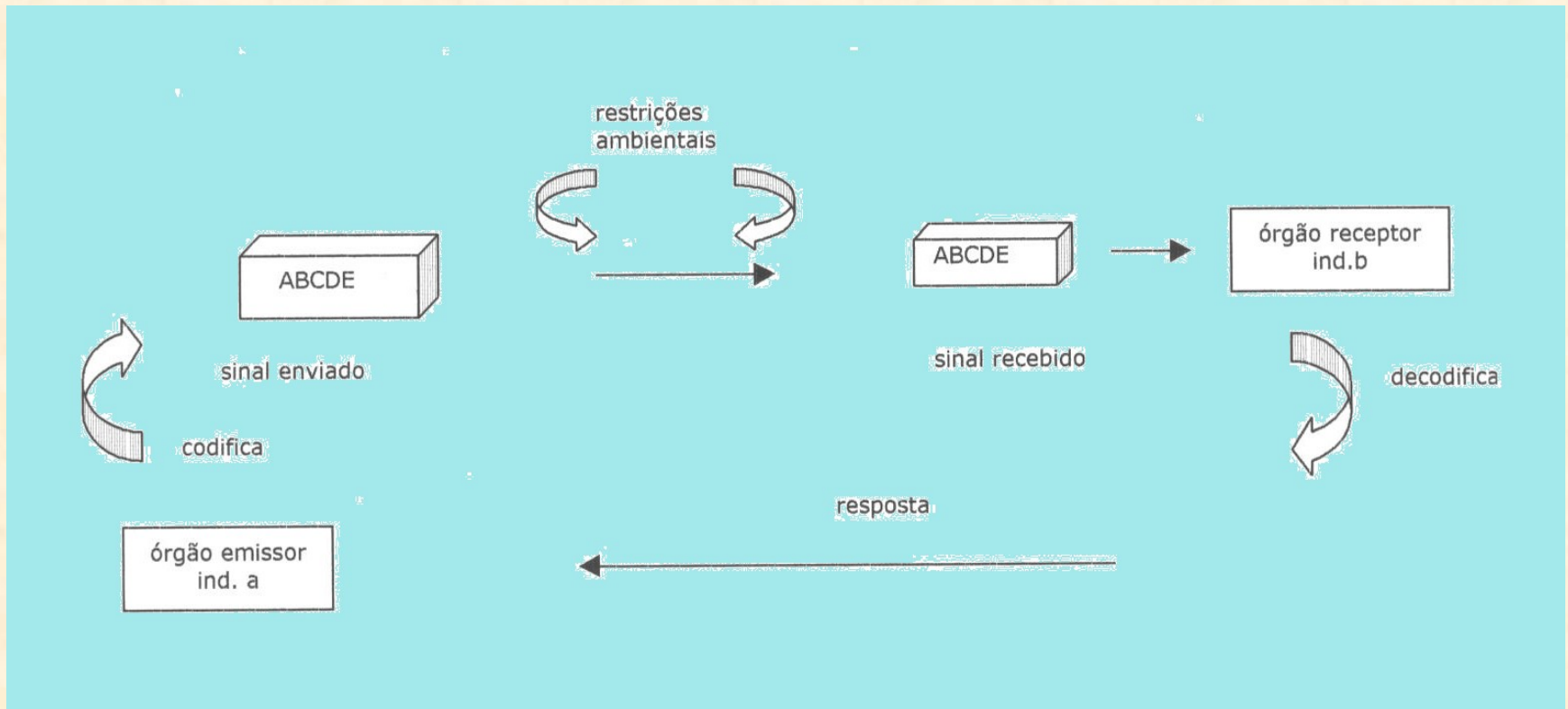
Lencioni *del.*



A comunicação acústica

- Envolve um emissor e um receptor nas seguintes etapas
 - Comportamento de emissão
 - O sinal sonoro
 - A transmissão do sinal sonoro
 - A percepção do sinal pelo receptor
 - A reação apropriada do receptor

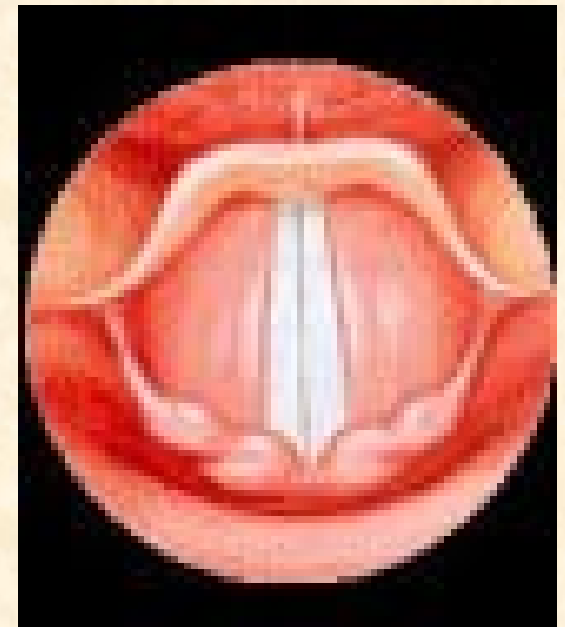
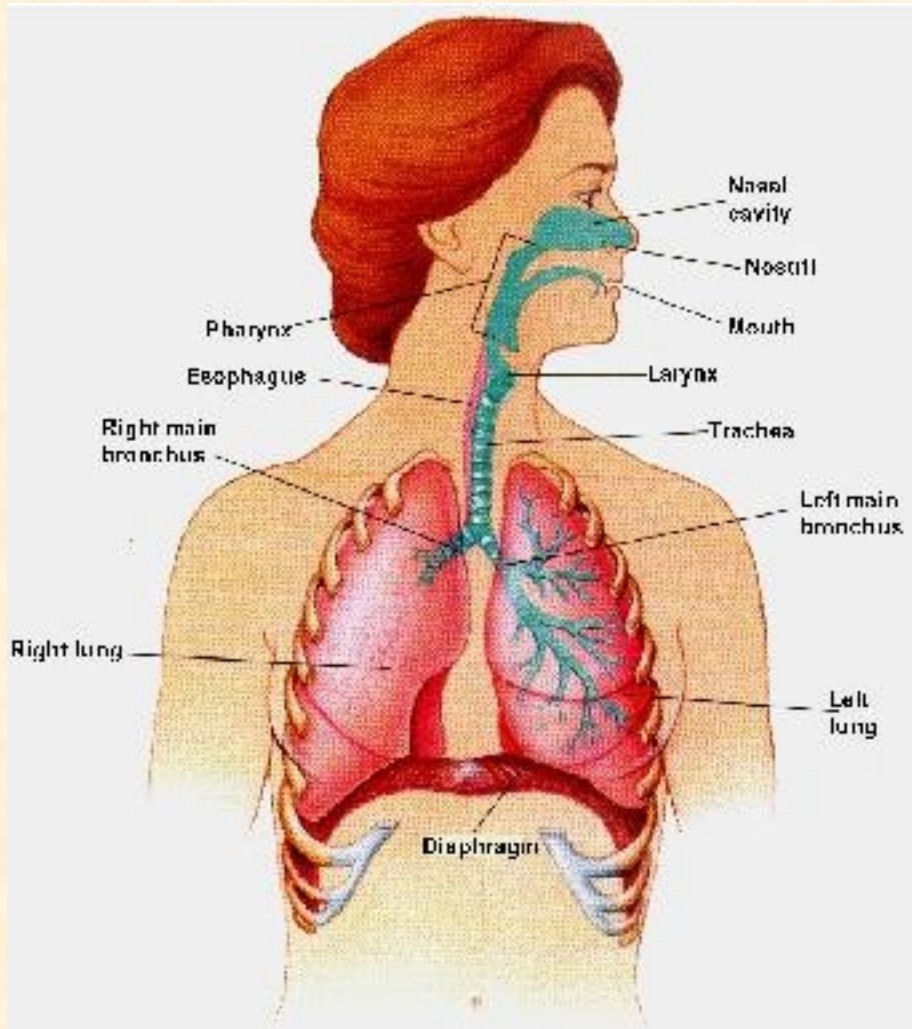
Diagrama do processo de comunicação



Comunicação

- Aves como modelo de estudo
 - são conspíquas
 - a maioria possui hábito diurno
 - a taxonomia é relativamente bem estabelecida
- Comunicação acústica
 - é um meio eficiente de comunicação em ambientes florestais
 - pode se propagar à uma distância longa e em todas as direções
 - ultrapassa barreiras físicas e pode ser utilizado durante a noite.

Cordas vocais



Funcionamento das cordas vocais em mamíferos

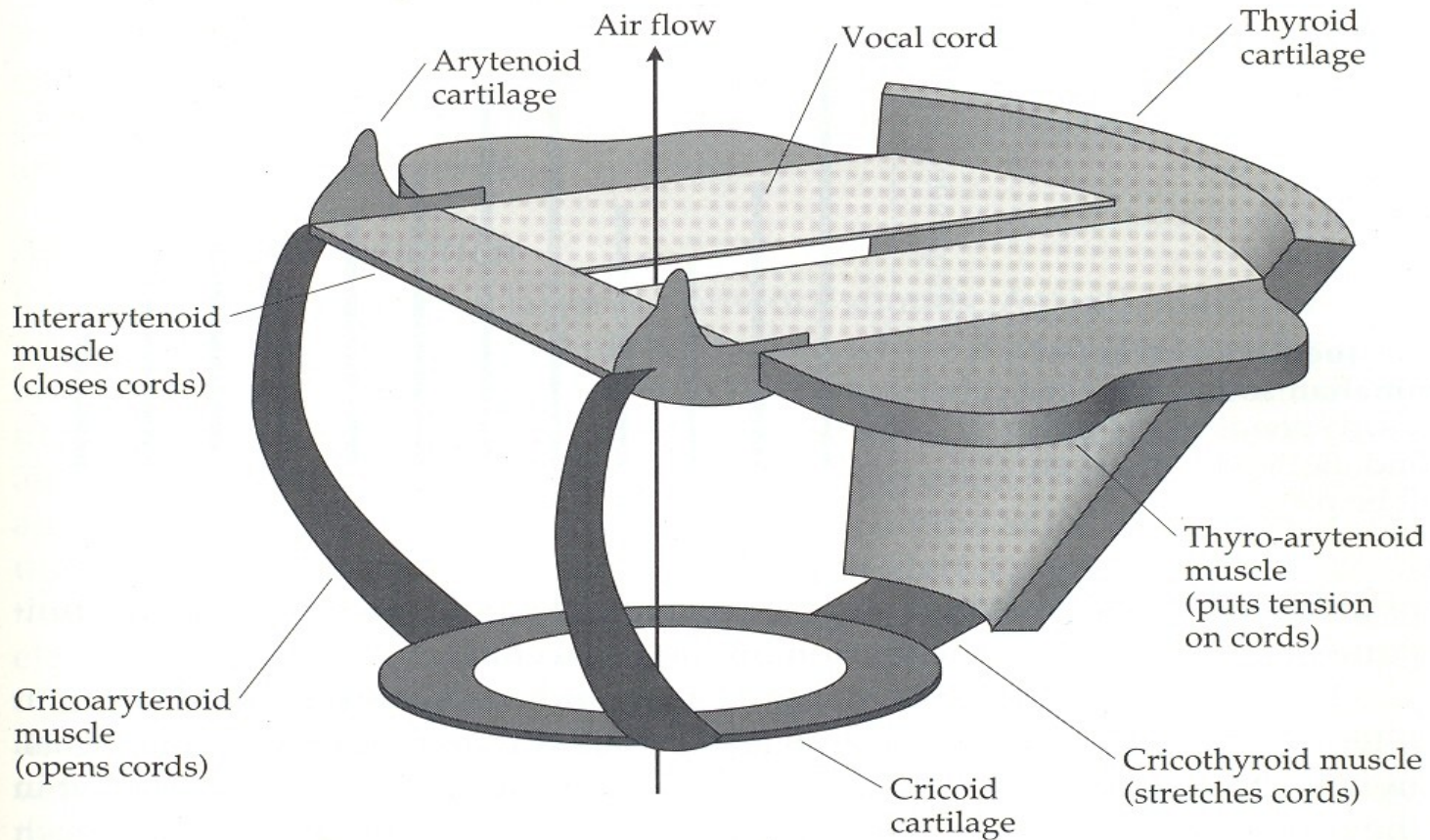


Figure 4.15 Working parts of a typical mammalian larynx.

Produção de som em primatas

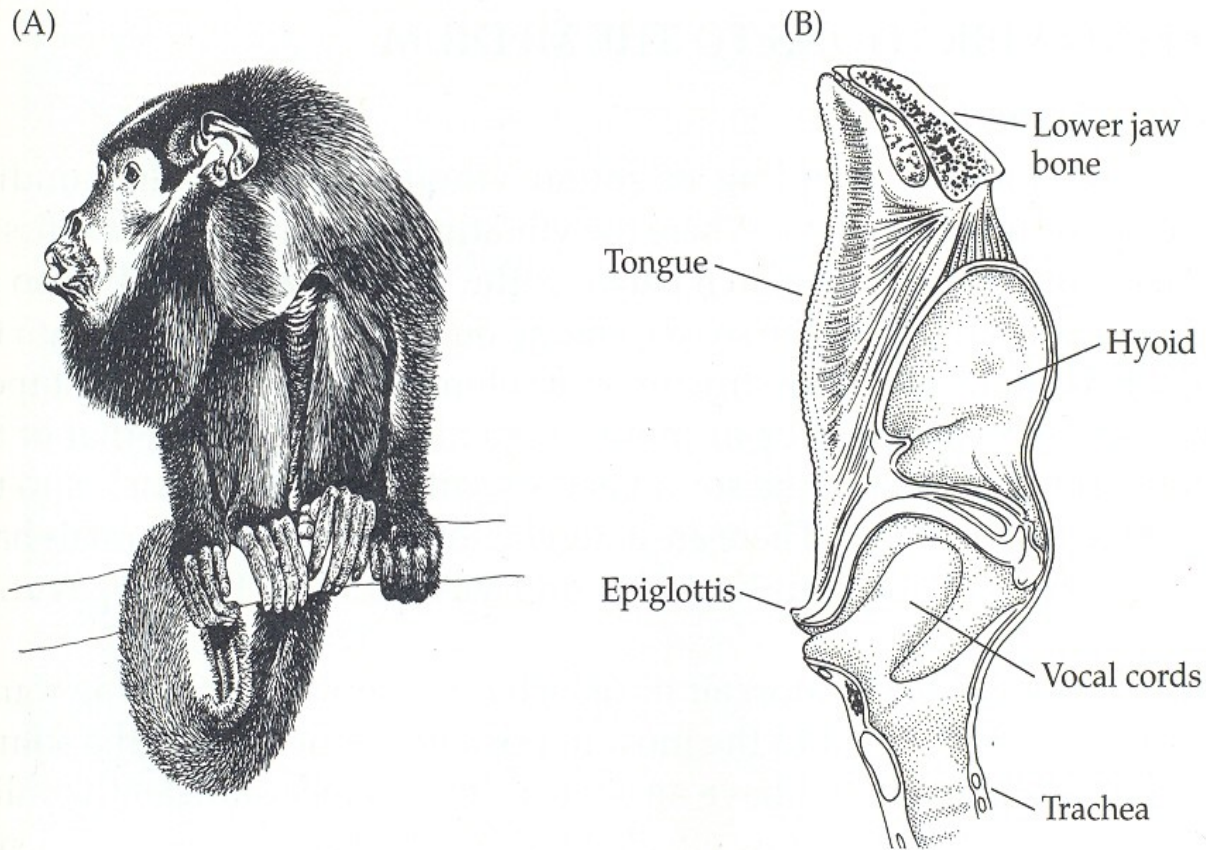
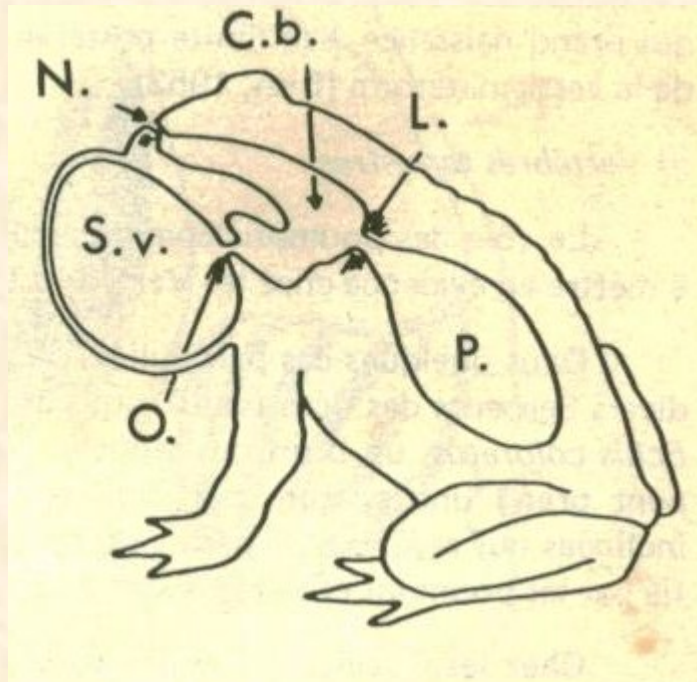


Figure 4.10 Call production organs of male howler monkey (*Alouatta palliata*). (A) Male calling. Note horn shape of pouted lips and enlargement of throat due to hollow hyoid cartilage. (B) Anatomy of upper respiratory tract. Vocal cords are long and large. Adjacent hyoid cartilage is enlarged and hollow to provide call resonance.

Órgão emissor dos Anuros



(A)

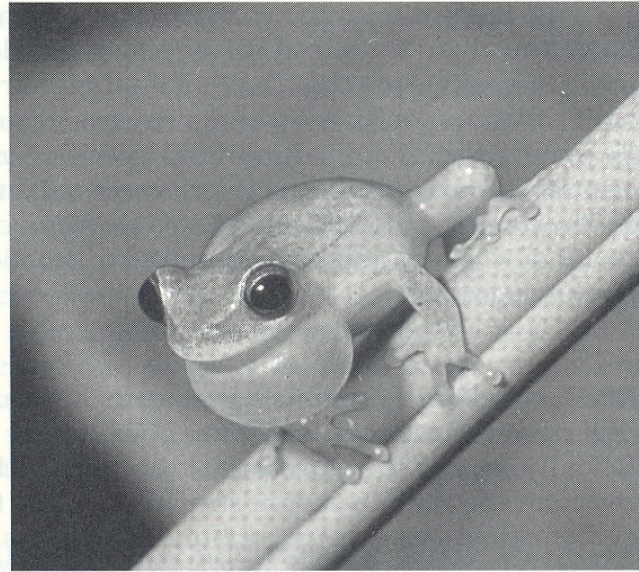


Figure 4.12 Filled throat sacs of calling anurans. (A) Tree frog (*Hyla ebrata*) that routinely calls from vegetation above the water. (B) Tungara frog (*Physalaemus pustulosus*) that always calls while floating in the water. Note the more lateralized sac shape in Tungara frog. (Photos courtesy of Marc Dantzker.)

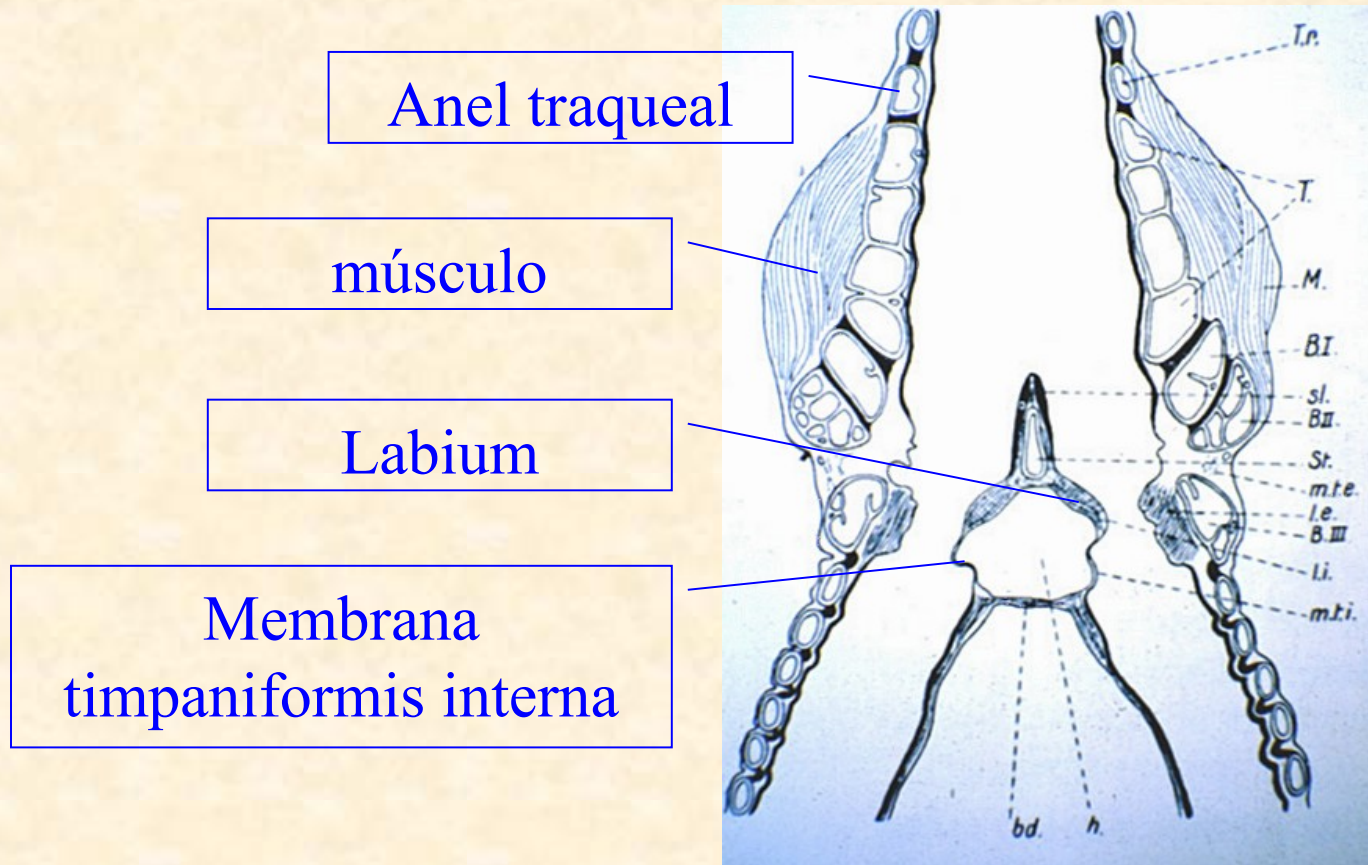
(B)



Syringe

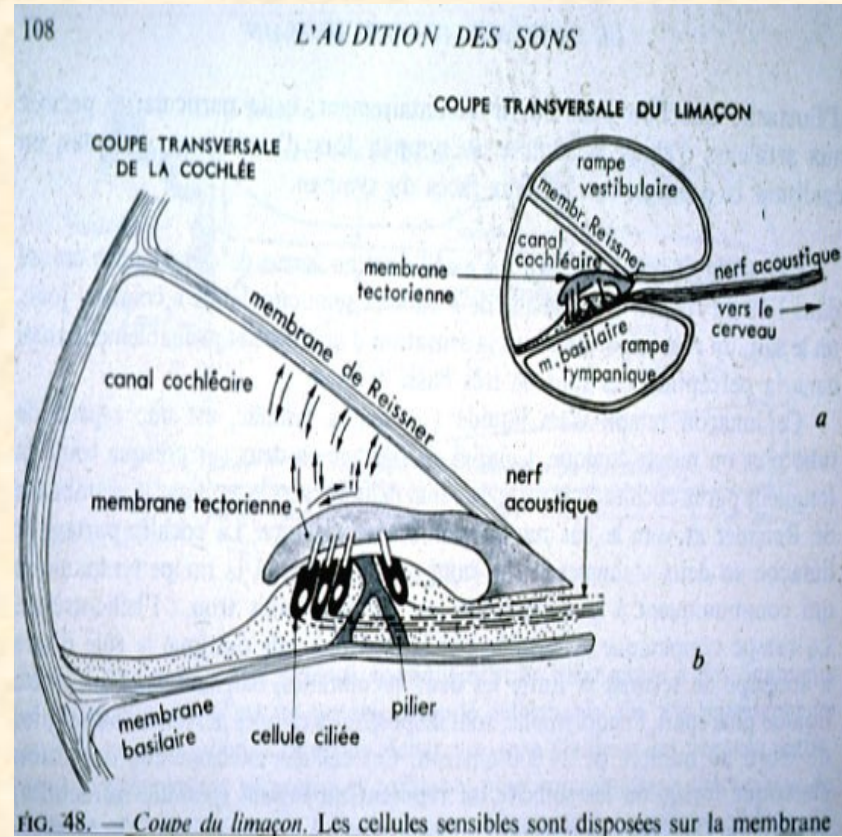
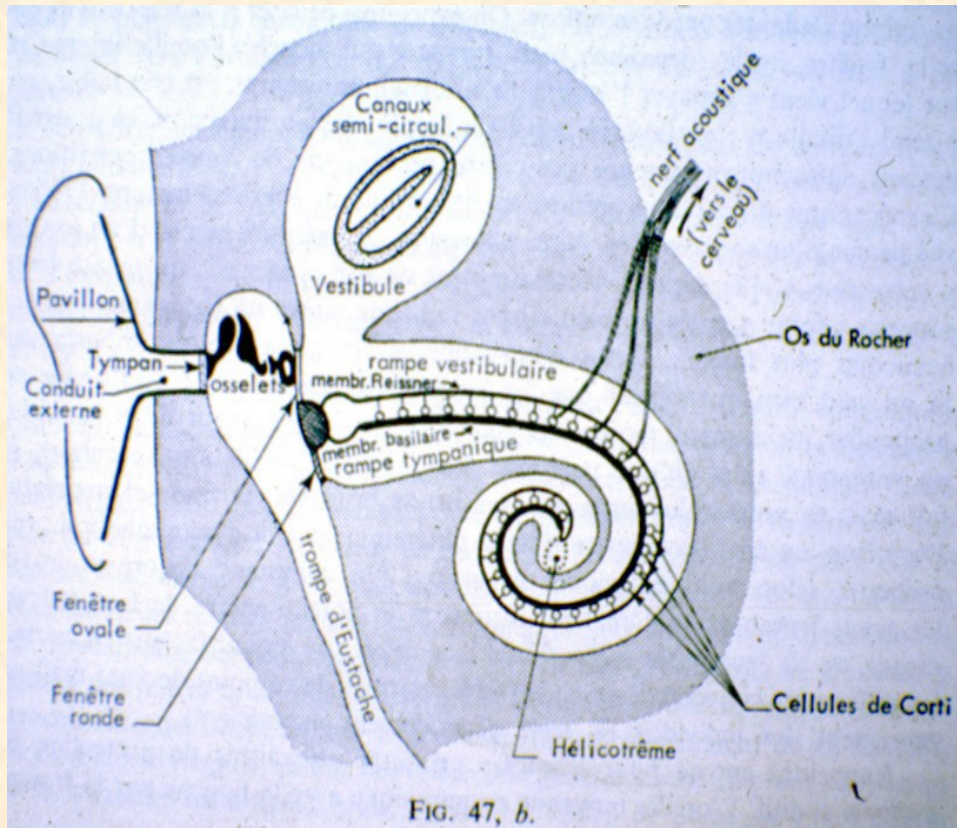
- Os sons são gerados diretamente pela vibração do ar expirado, modelo físico com implicações importantes:
- a produção de som não depende de ressonância;
- não há limitações mecânicas na estrutura dos sons produzidos;
- o sistema produz sons puros naturalmente e envolve pouco gasto de energia metabólica.

Órgão emissor das Aves: siringe



Greenewalt (1968)

Órgão de recepção sonora: ouvido dos Vertebrados



O Ouvido

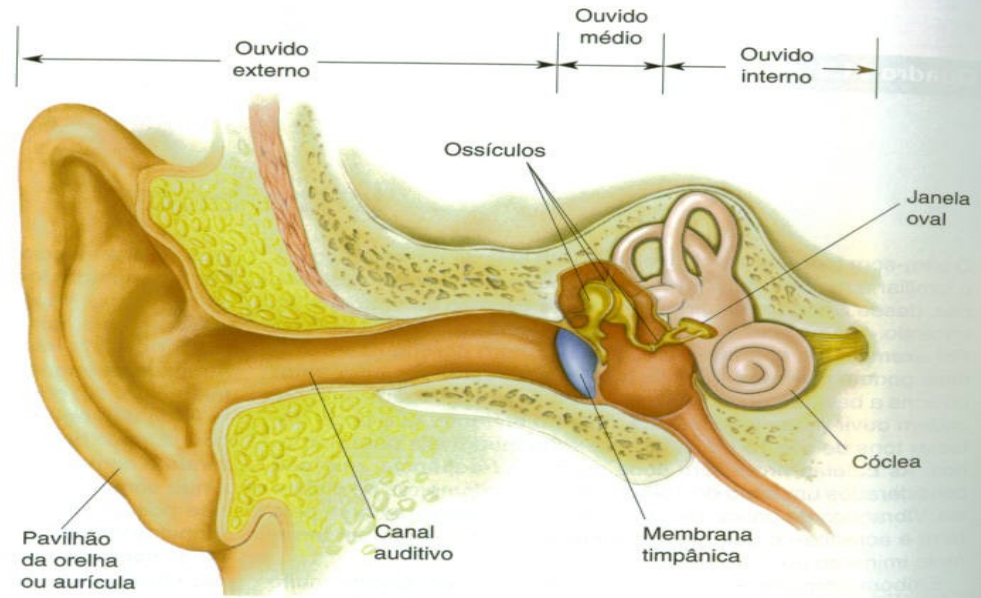


Figura 11.3
Os ouvidos externo, médio e interno.

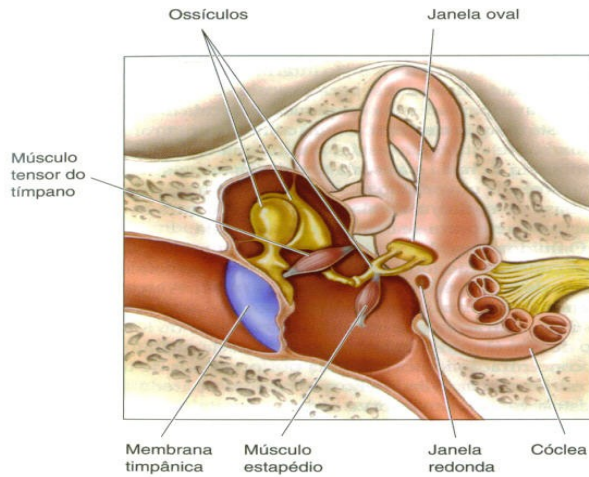


Figura 11.6
Os ouvidos médio e interno. Tanto o músculo estapédio quanto o tensor do tímpano estão ligados à parede do ouvido médio, por uma extremidade, e aos ossículos, pela outra.



A audição

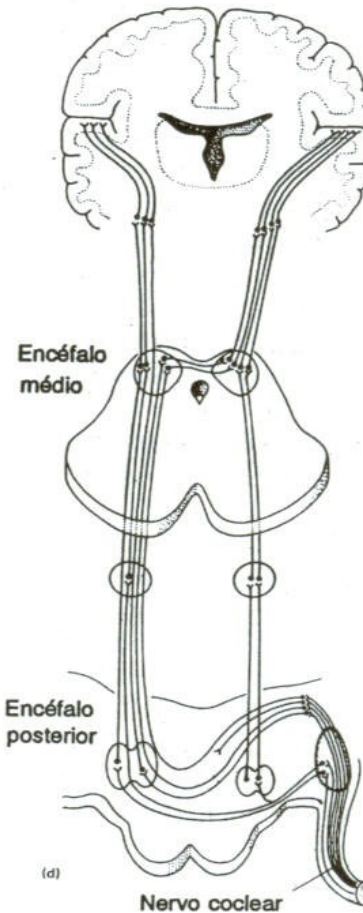
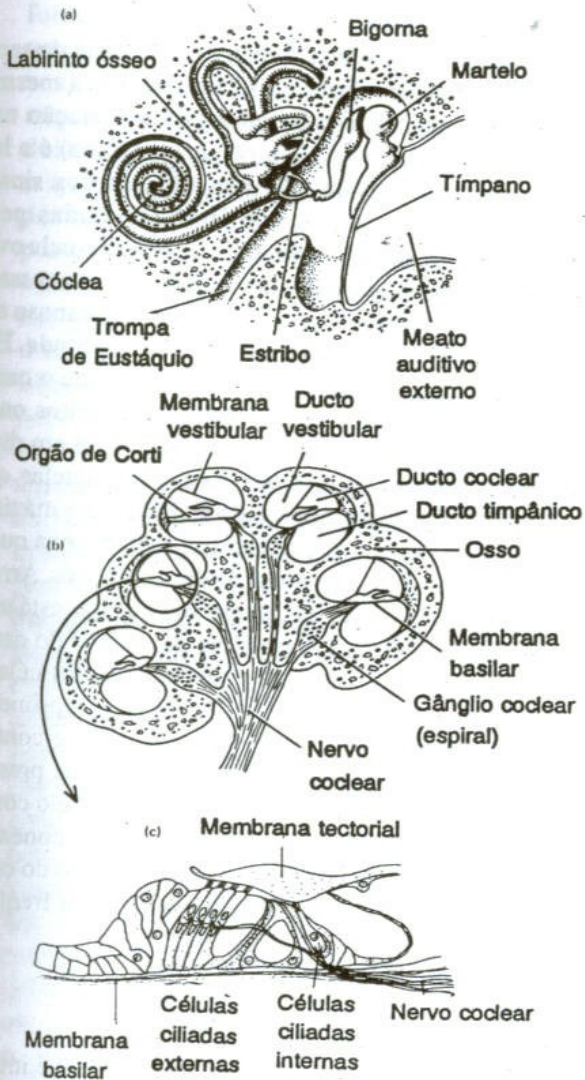


Figura 3-24 O sentido da audição ilustrado por um mamífero: (a) diagrama de um aparelho auditivo; (b) diagrama do corte da cóclea; (c) estrutura do órgão de Corti; (d) vias neurais na audição mostrando inúmeras sinapses, decussações (trocas para o lado oposto) e representação final dupla nos hemisférios cerebrais, as quais facilitam a comparação dos impulsos originários de cada ouvido. ([a] Modificado de A.S.Romer e T.S.Parsons, 1977, *The Vertebrate Body*, 5ª edição, Saunders College, Philadelphia; [b] de A.G.Kluge et al., 1977, *Chortade Structure and Function*, 2ª edição, MacMillan, New York, NY; [d] de F.H.Netter, 1962, *The CIBA Collection of Medical Illustrations*, volume I, *Nervous System*, CIBA Publications, Summit, NJ.)

Funções biológicas do sinal acústico

- Atração sexual
- Cômte
- Disputa entre machos
- Contato
- Isolamento
- Defesa de território
- Chamado de filhotes
- Ecolocação
- “Angústia”
- Erro de amplexo

Categorias etológicas funcionais dos sinais sonoros (Collias 1960)

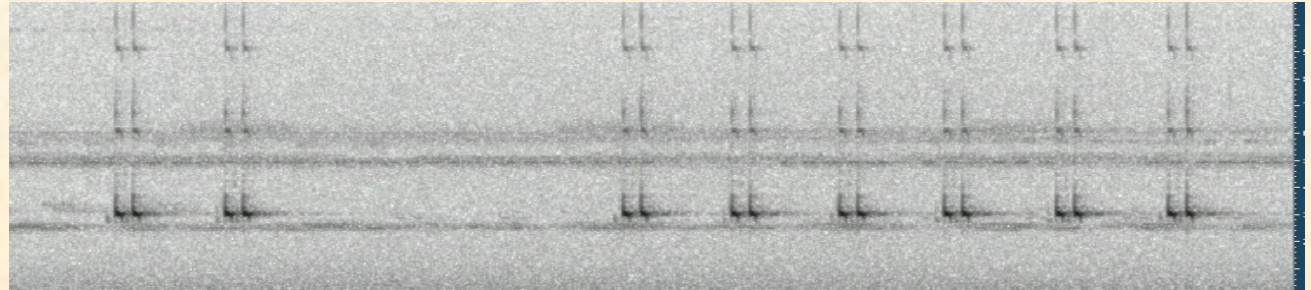
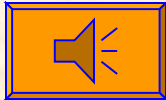
- Relacionados a problemas alimentares
- Produzidos em fases sucessivas da reprodução
- Relacionados à vida em grupo
- Emitidos na presença de inimigos

Repertórios complexos em grilos (Orthoptera)

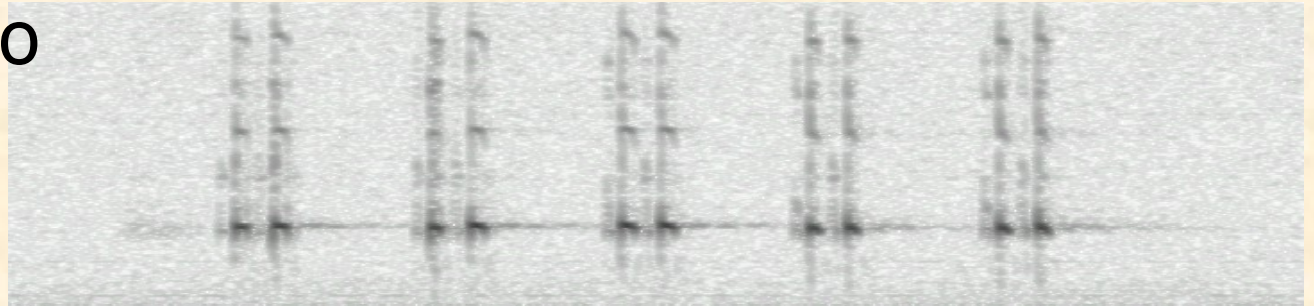
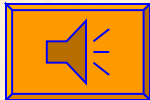
Endocous itatibensis (Phalangopsidae)

Zefa and Vielliard (2001), *XVIII IBAC*

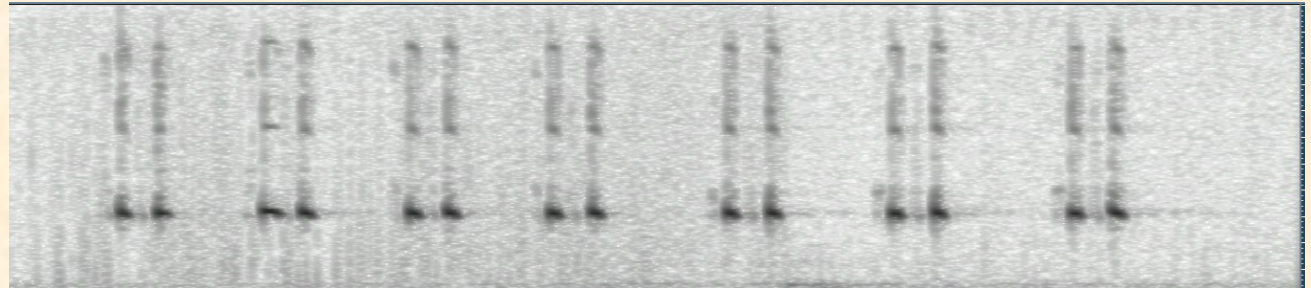
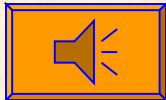
chamado



reconhecimento
sexual



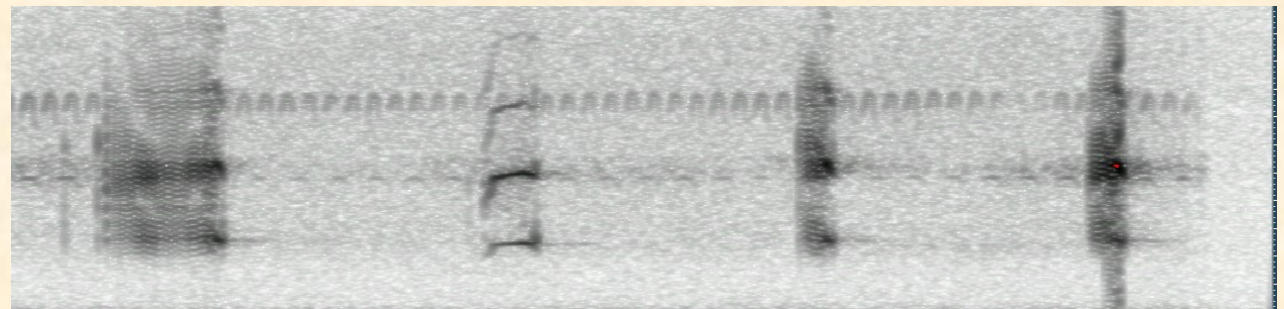
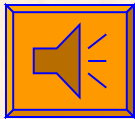
agressividade



Hyla minuta (Hylidae)

Haddad (1988), unpubl. M.Sc. Diss., Unicamp, Campinas

- Combinação variável de 3 tipos de nota, de acordo com o contexto territorial e de cômte

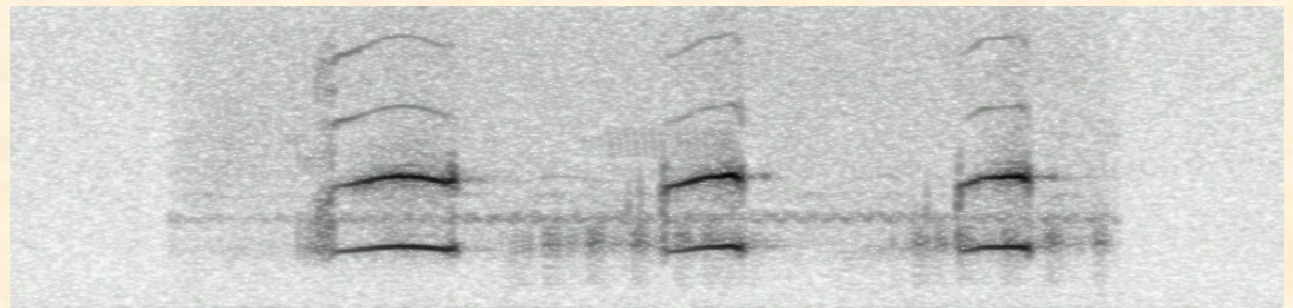
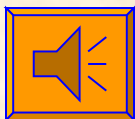


A

B

C

C



B'

B

B

Repertórios complexos em Anus (Aves)

Anu-branco *Guira guira* (Crotophagidae)

Fandiño-Mariño (1989), *A comunicação sonora do Anu branco*,
Edit. Unicamp, Campinas.

- Contato social
- 27 outras categorias de sons
- Possibilidade de recombinações

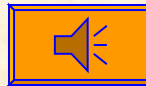
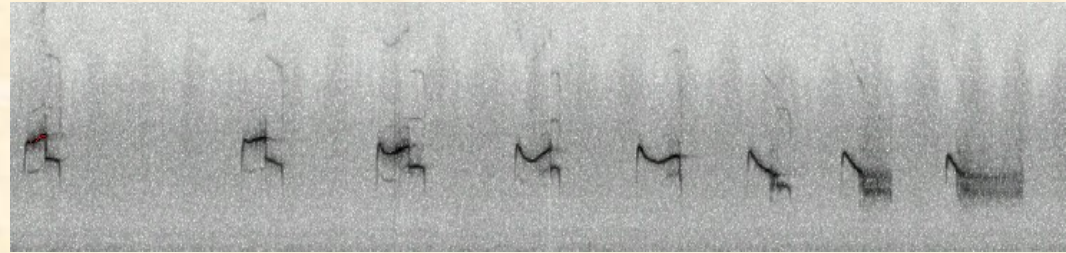


Photo: Edson Endrigo

Canto

- Sinal de comunicação que tem como função biológica primordial o reconhecimento específico
 - Pode ser mediado pela aprendizagem, manifestada por variações populacionais, individuais e intra-individuais ou
 - inato, quando o indivíduo possui um canto funcional mesmo se criado em isolamento acústico. São geralmente estereotipados.

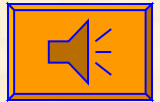
Determinismo genético

Canto estereotipado

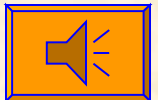


Formicarius colma
Pinto-do-mato

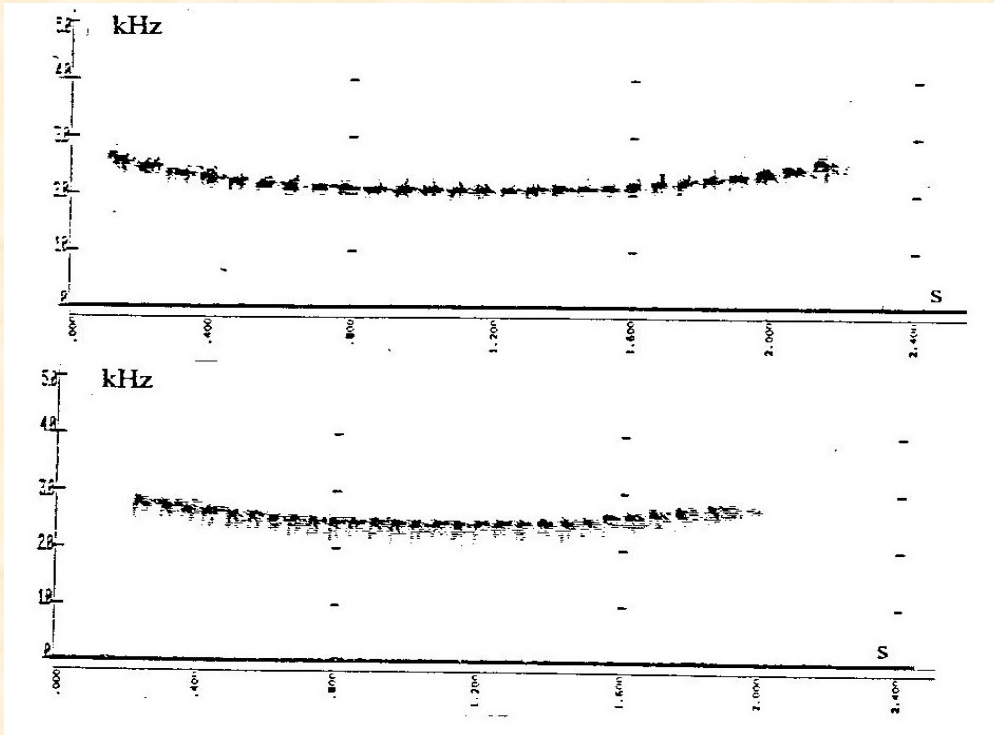
Humaitá do Moa, AC



Ilha do Cardoso, SP



Anais Etologia (1995) 13: 134-147



Espécies crípticas



Glaucidium minutissimum

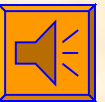
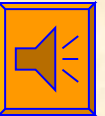
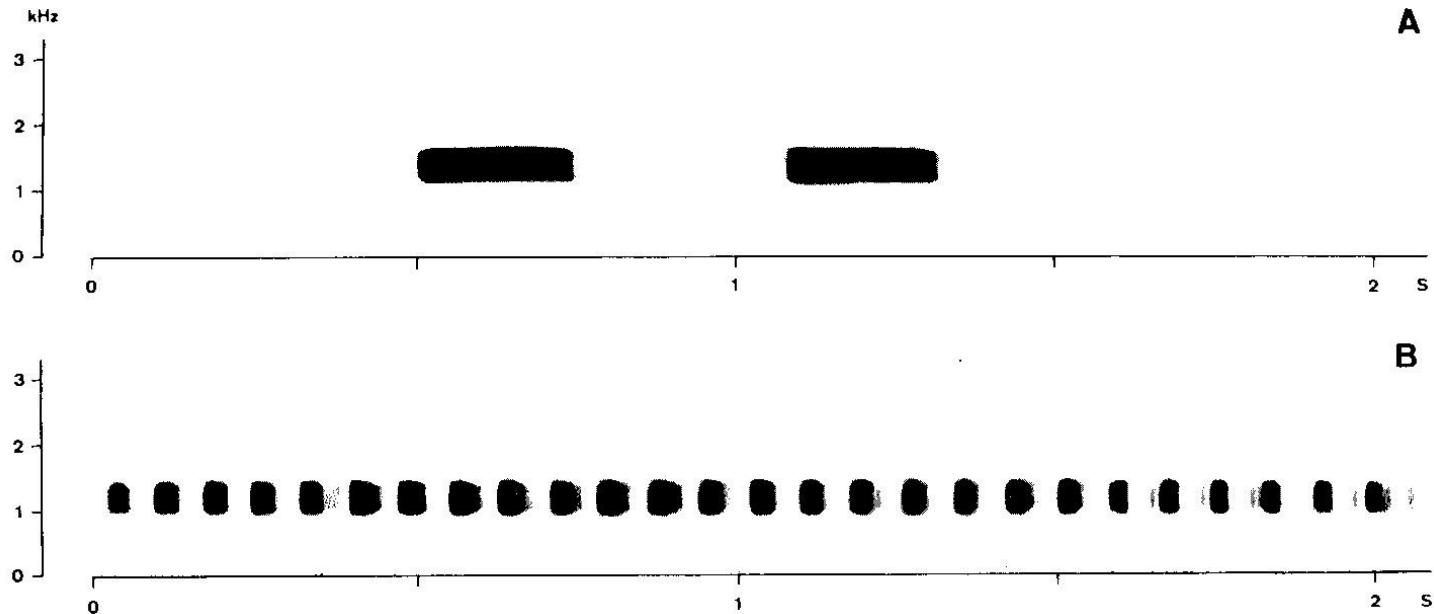
Revta. bras. Zool. (1989) 6: 685-693.



Glaucidium hardyi

Lencioni *del.*

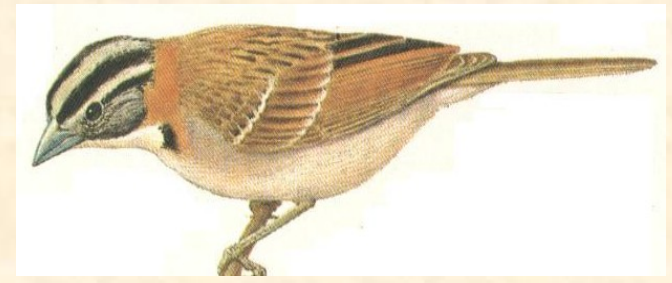
Canto de *Glaucidium minutissimum* (A) e de *G. hardyi* (B)



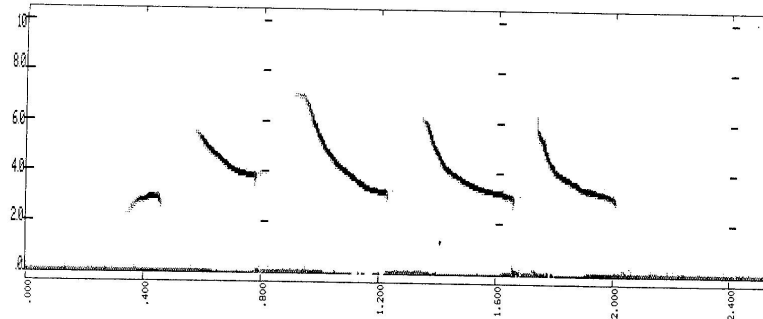
Ontogênese

- Em *Zonotrichia leucophrys* a ontogênese do canto é dividida em três períodos:
 - período de receptividade da informação.
 - período refratário - o jovem não acrescenta informações novas ao canto.
 - Período de ajuste da aprendizagem - formação do canto definitivo.

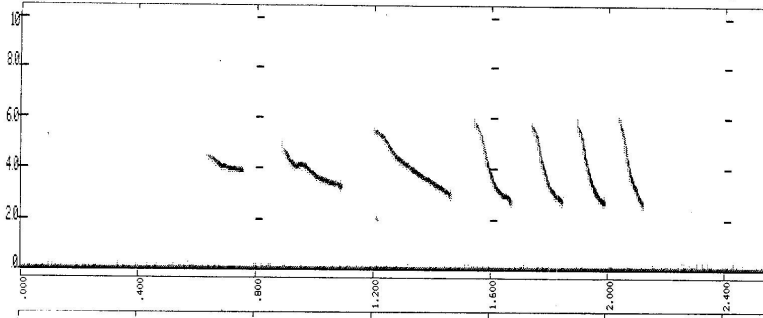
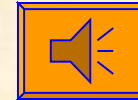
Canto aprendido dialetos



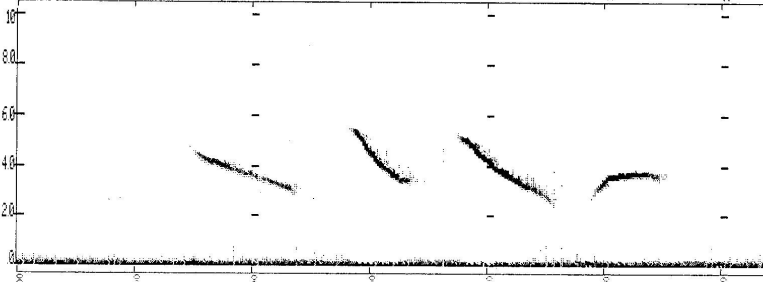
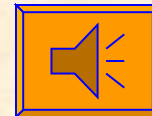
Zonotrichia capensis
Tico-tico



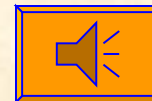
Itatiaia, RJ



Exu, PE



Teresina, PI

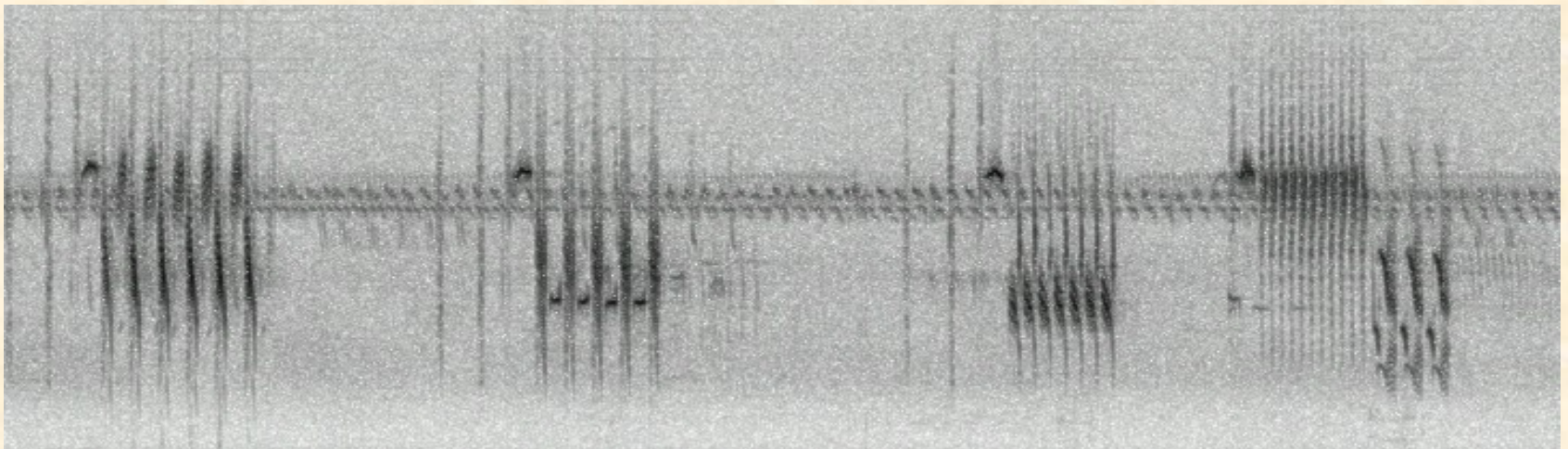
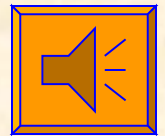


Sons contínuos e variáveis

Cistothorus platensis (Aves, Troglodytidae)

Kroodsma *et al.* (1999), *Anim. Behav.* 57: 855-863

- Mais de 300 tipos diferentes de frases em seqüência contínua
- Repetição da mesma frase em interações entre vizinhos



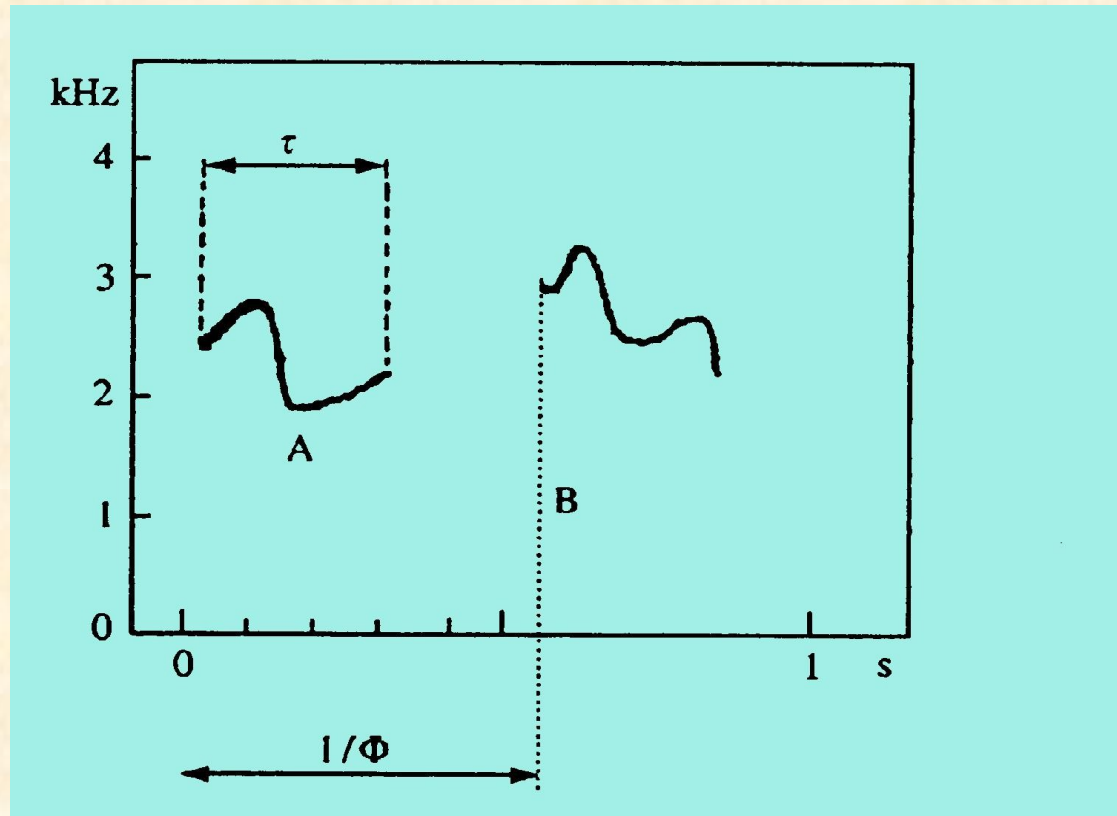
Canto versátil



Sabiá-laranjeira *Turdus rufiventris*

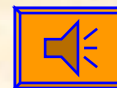
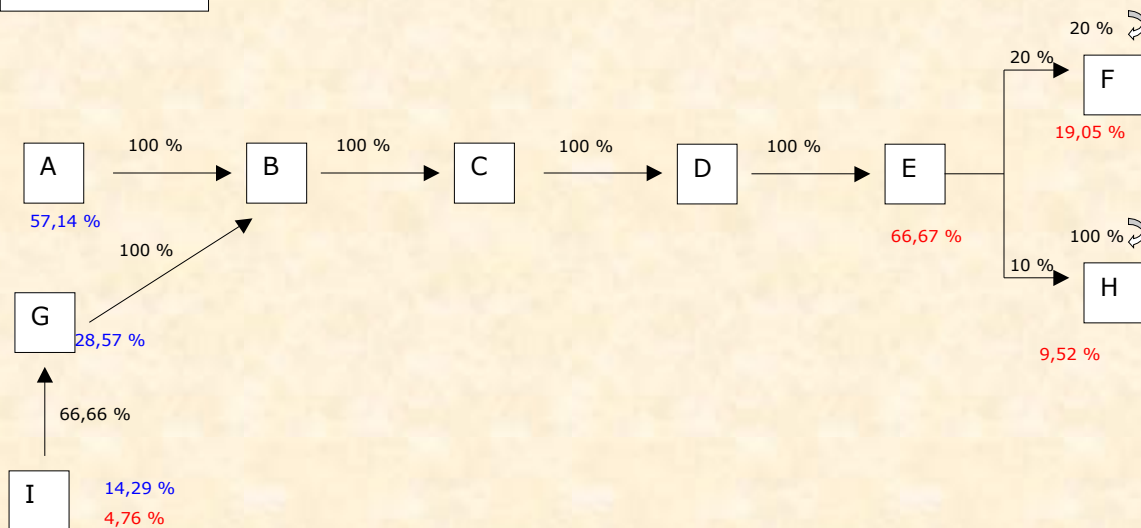
Sigrist (1995) del.

Medições



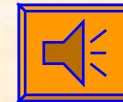
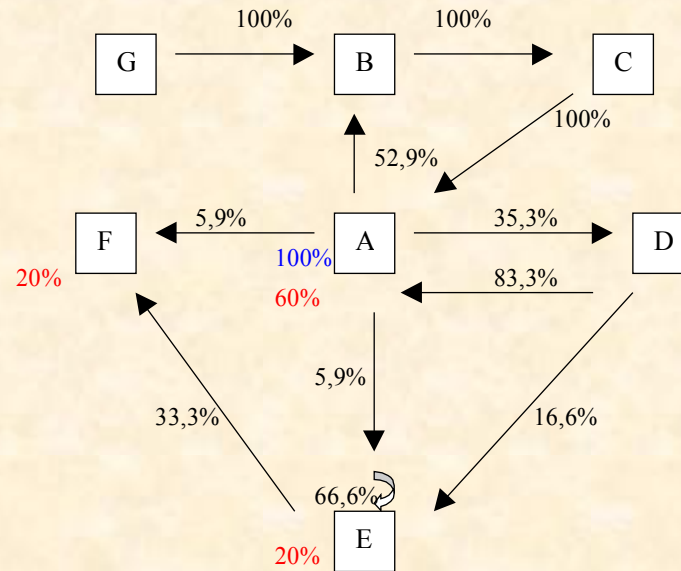
Sabiá-laranjeira: canto do indivíduo 4 Itabuna, BA

Indivíduo 4



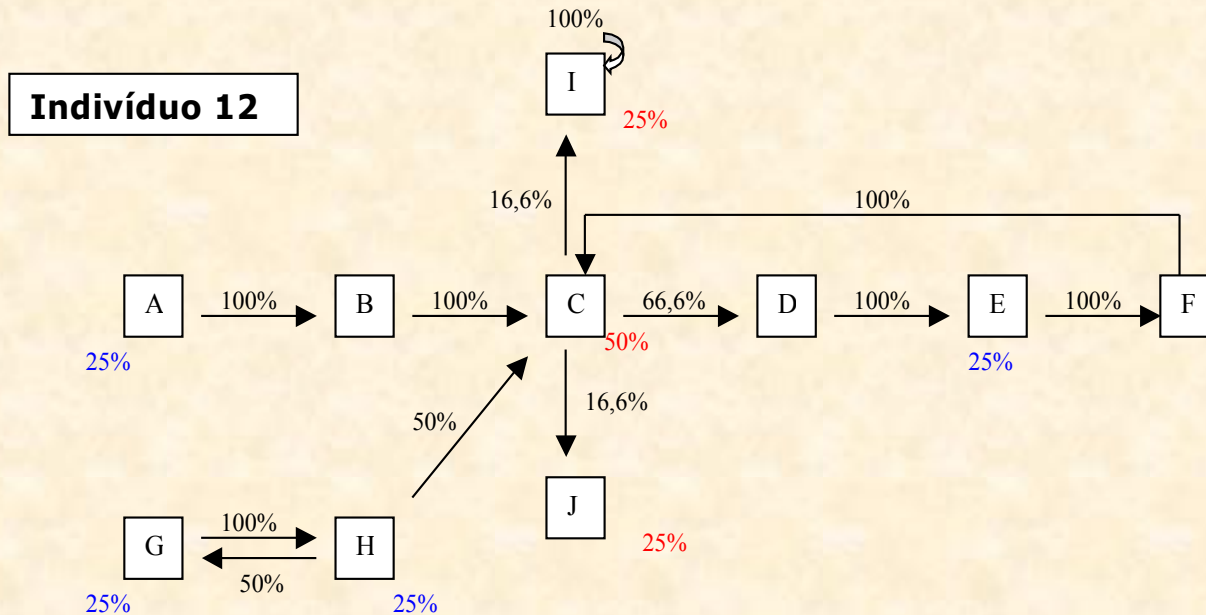
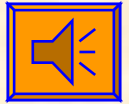
Sabiá-laranjeira: canto do indivíduo 8 São Paulo, SP

Indivíduo 8



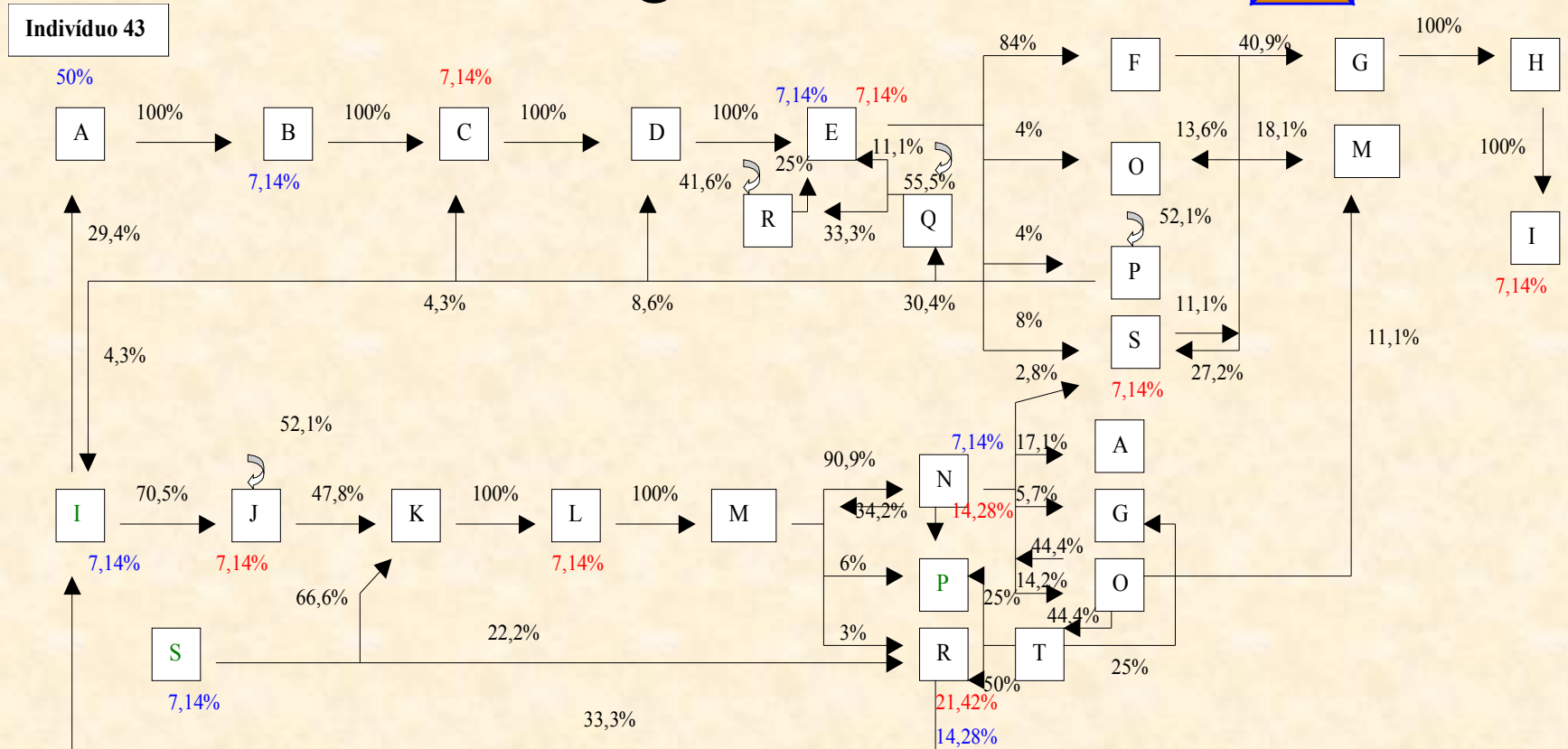
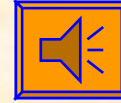
Sabiá-laranjeira: canto do indivíduo 12

Palmas, PR



Sabiá-laranjeira: canto do indivíduo 43

Caraguatatuba, SP



Os Sabiás do Brasil: quatro espécies sintópicas



Turdus albicollis
Sabiá-coleira



Turdus leucomelas
Sabiá-fogueteira



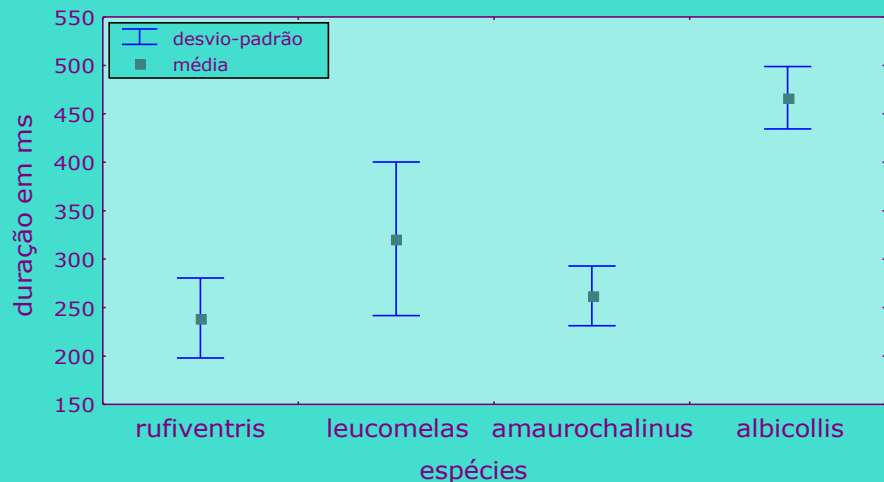
Turdus rufiventris
Sabiá-laranjeira



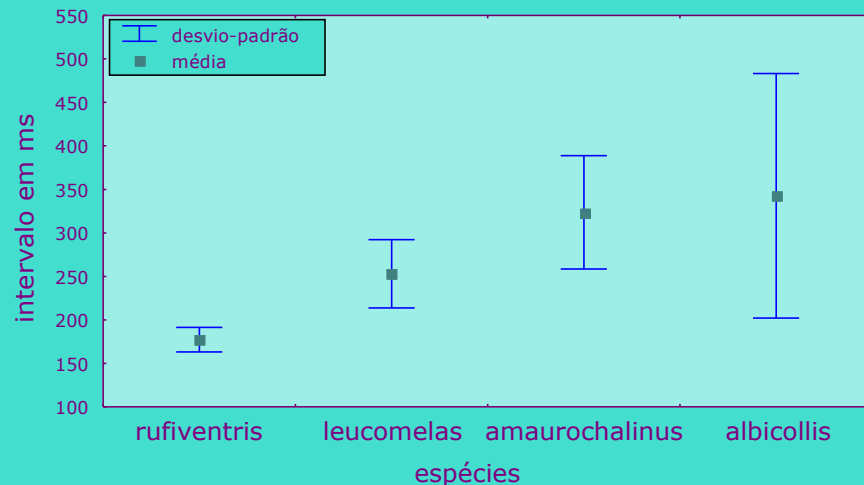
Turdus amaurochalinus
Sabiá-poca

Variação dos parâmetros temporais e de frequência para quatro espécies do gênero *Turdus*

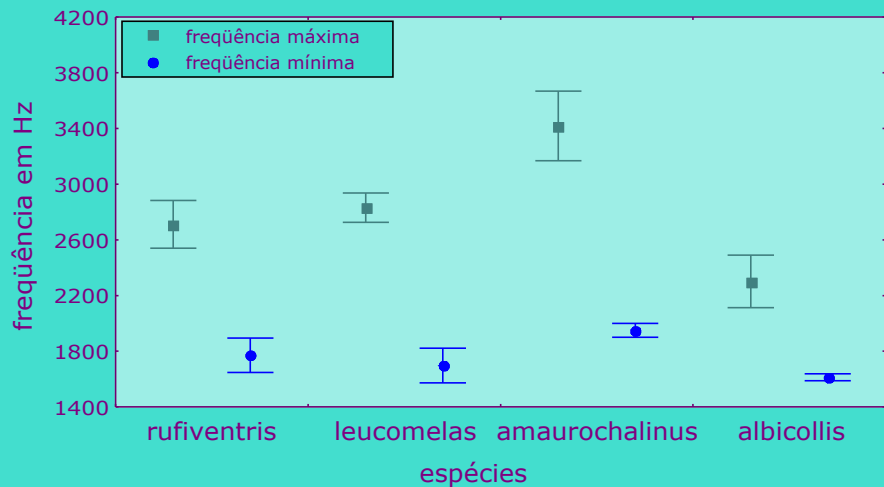
Duração das notas



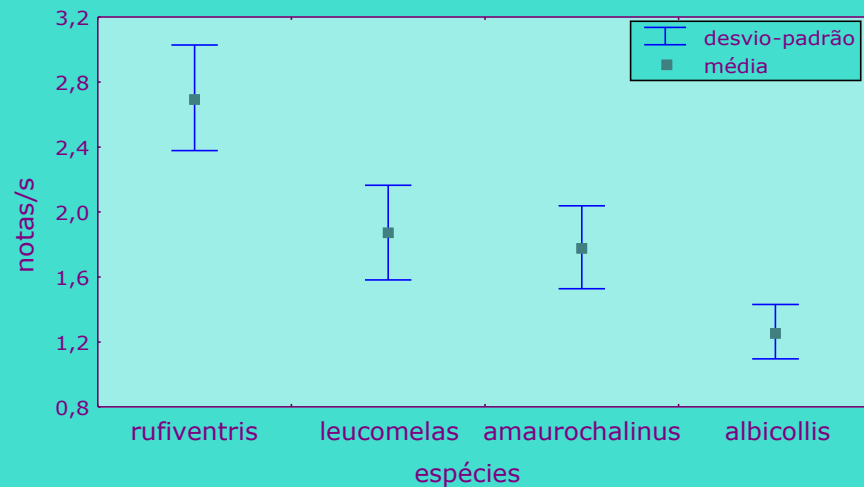
Valores do intervalo de tempo entre as emissões



Valores das frequências máximas e mínimas

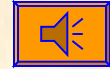
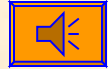


Número de notas emitidas por segundo

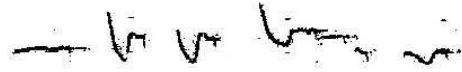


Os Sabiás do Brasil: quatro espécies sintópicas

Turdus leucomelas



Tu
Sa



XXI Intern. Ornith. Congress, Wien, Áustria, (1994): P632.

Turdus leucomelas
Sabiá-poca

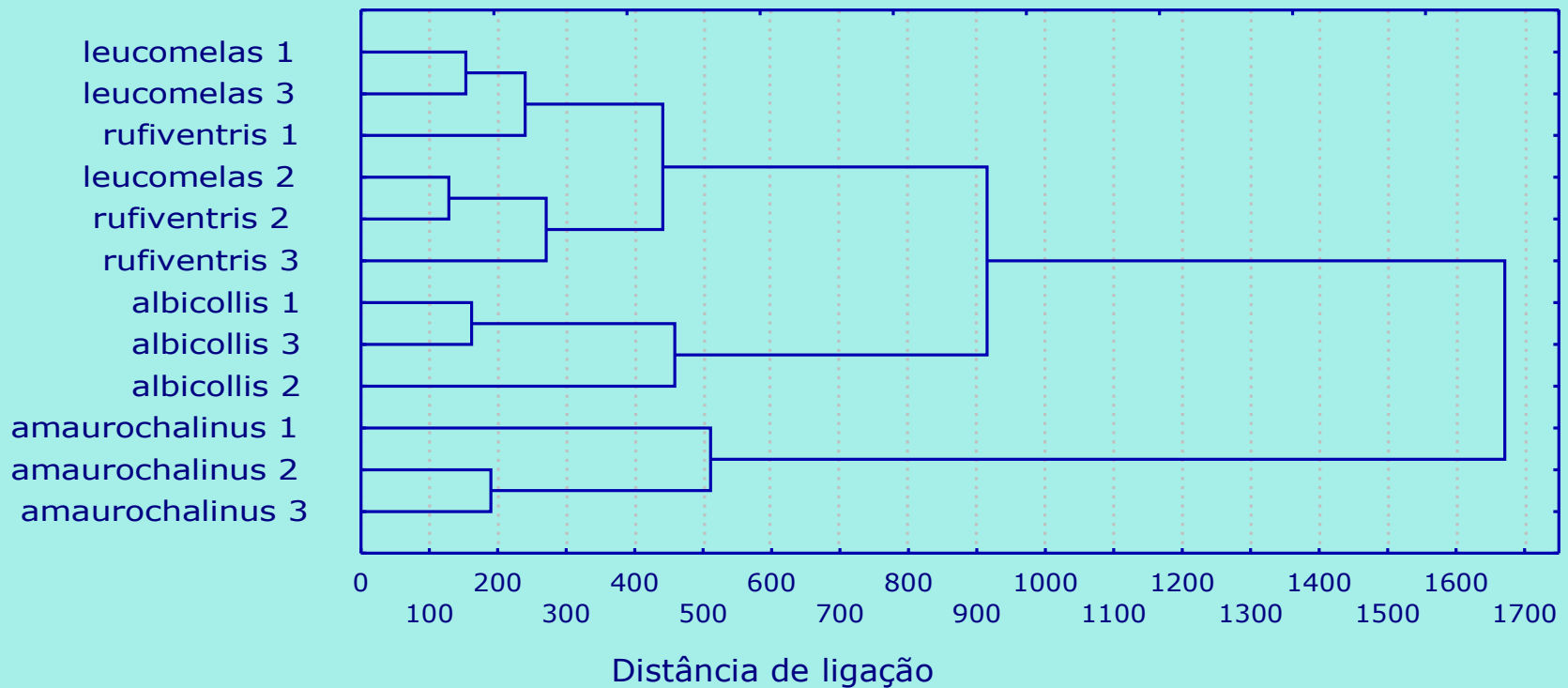
Dendrograma das quatro espécies sintópicas do gênero *Turdus*.

Análise de conglomerados

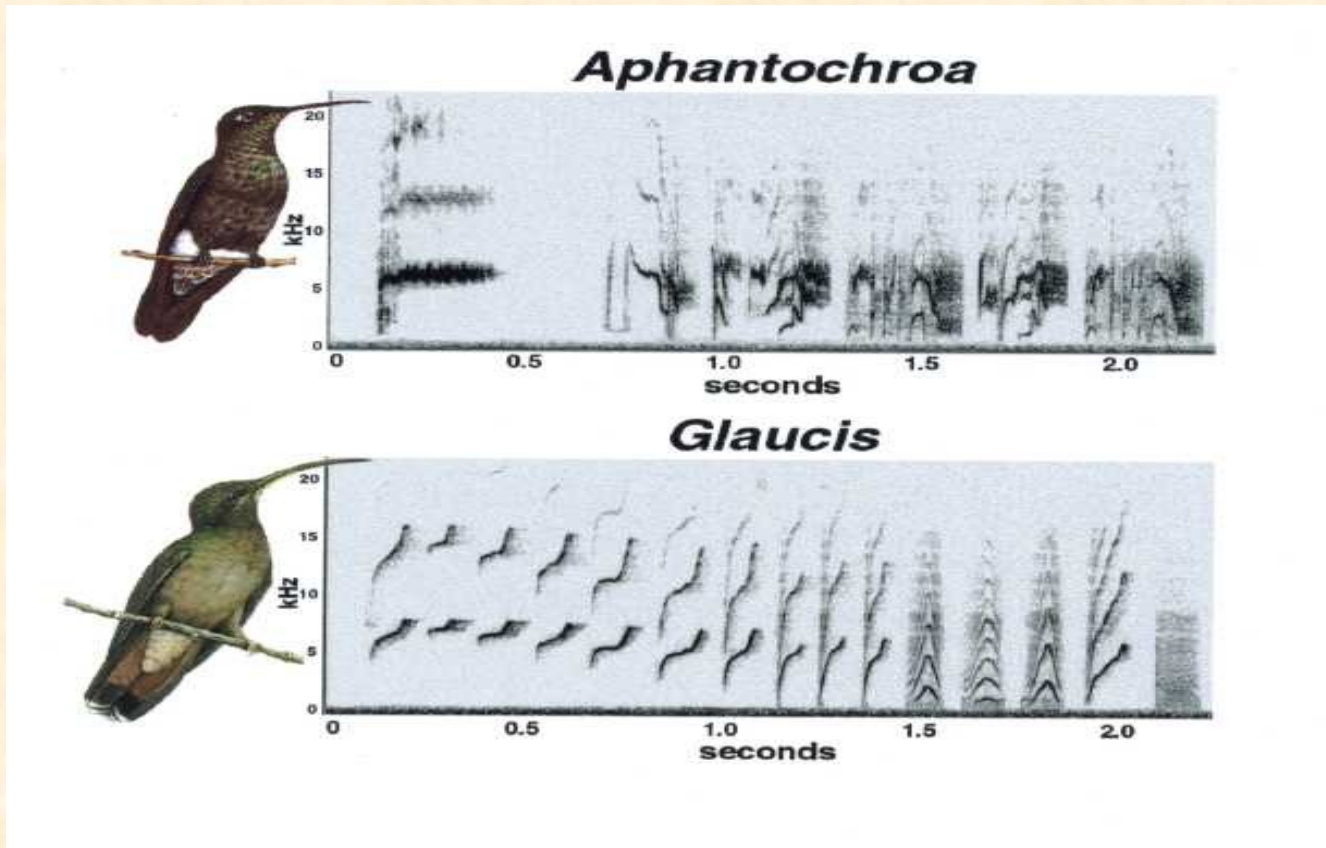
Complete linkage - distância euclidiana

Parâmetros temporais, de frequência,

$$E_1, E_{\max 1}, E_1/E_{\max 1} \text{ e } E_f$$



Aprendizagem em beija-flores

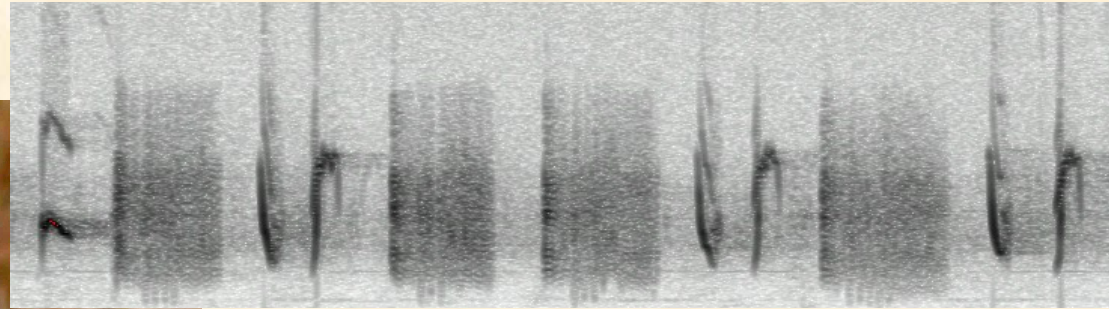


Nature (2000) 406 (6796): 628-632

Versatilidade no canto de Beija-flores

Beija-flor de gravata roxa *Augastes lumachellus* (Aves, Trochiliformes)
Vielliard (1983), *Bol. Mus. Biol. Mello Leitão* 52: 1-20

- Repertório individual de canto composto de 4 a 6 tipos de notas,
- Emitidas em seqüências variáveis



Metade da
velocidade

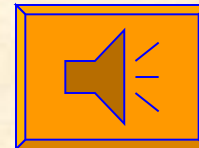
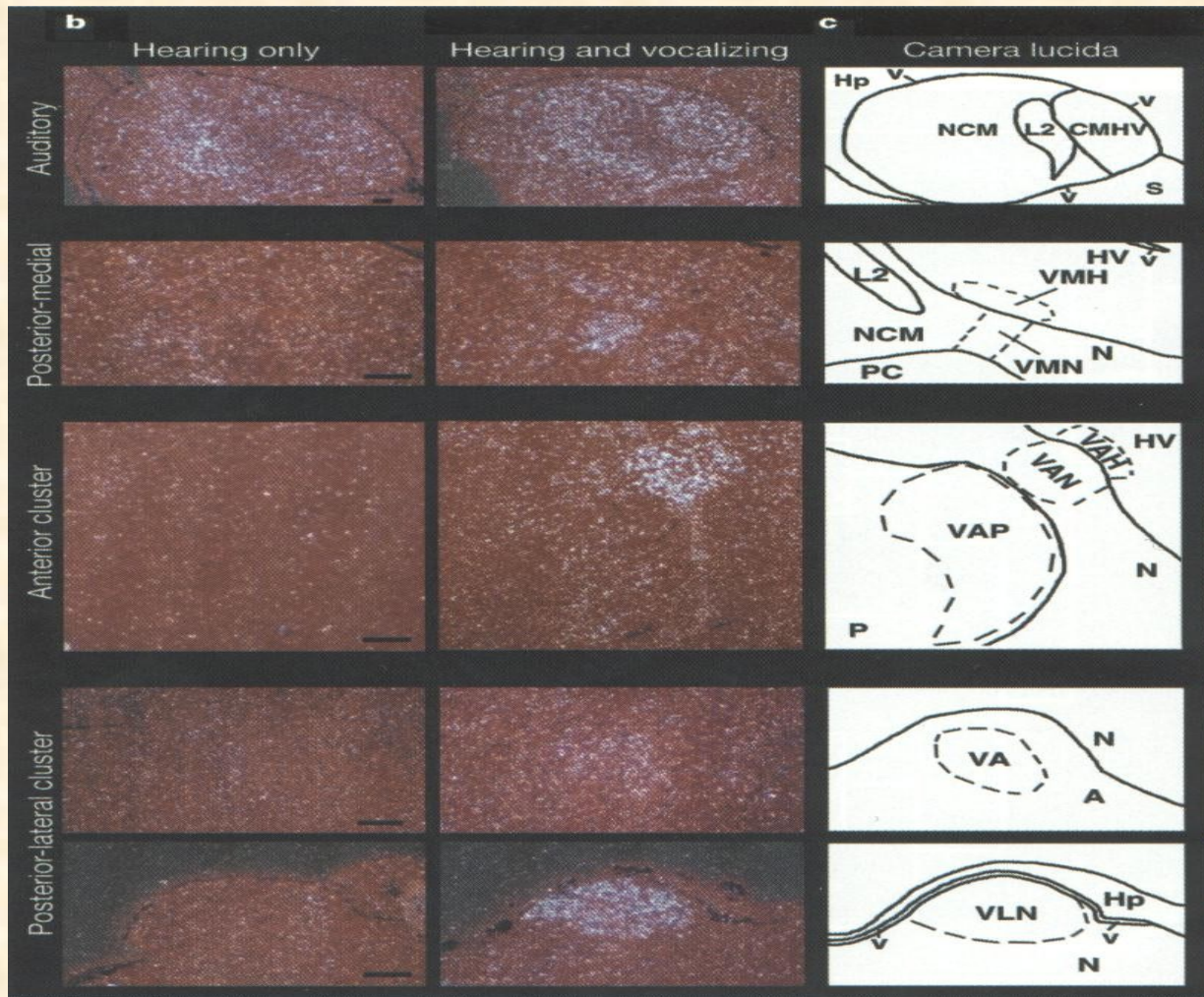
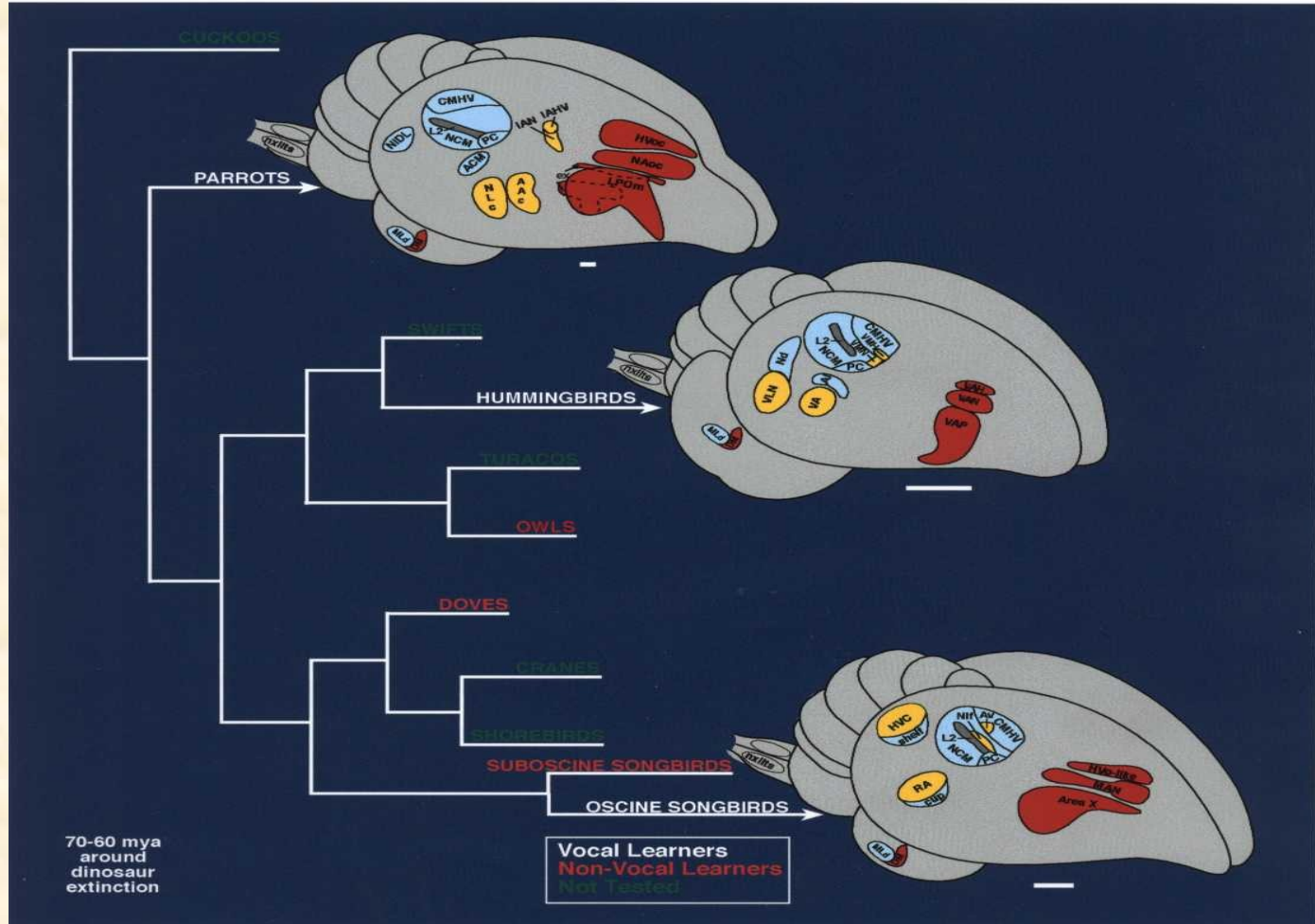


Foto: Rolf Grantsau

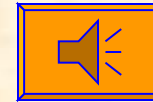
Ativação do gene ZENK



Aprendizagem vocal em Aves

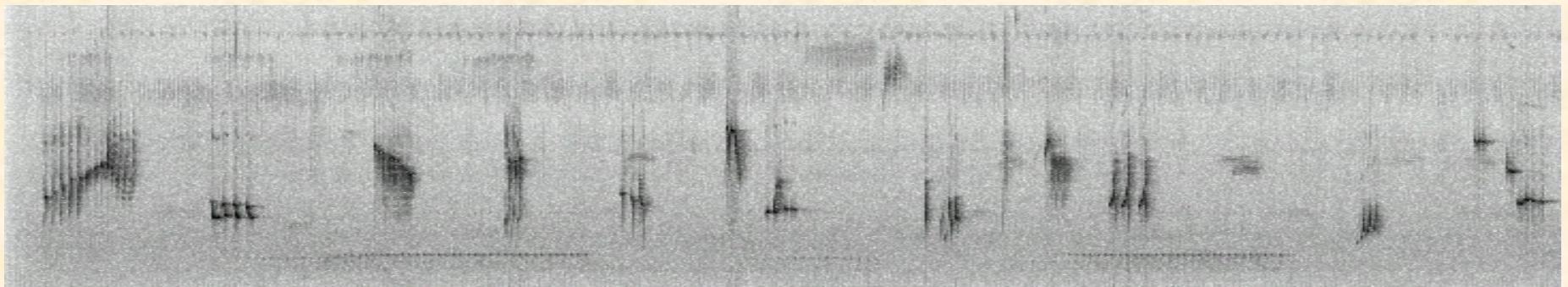


Imitações



Sabiá-poliglota *Turdus lawrencei*

Frisch (1981) *del.*

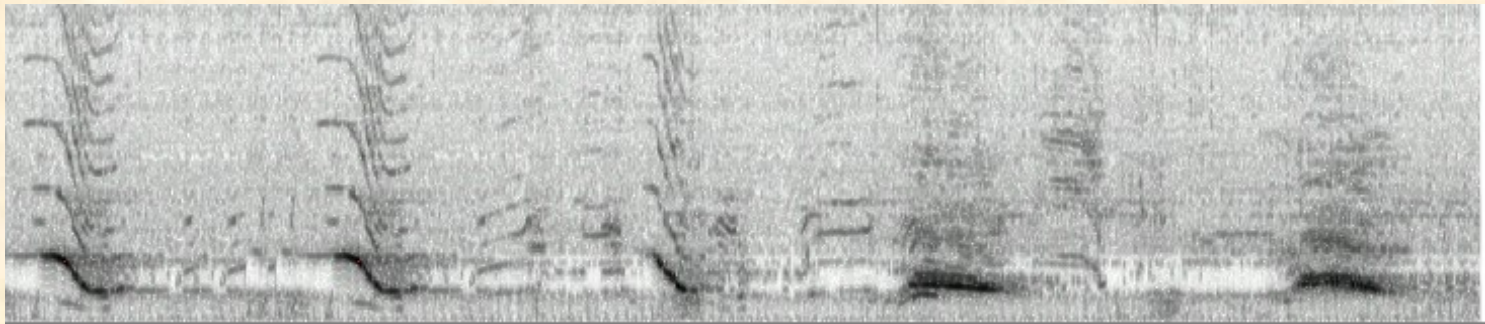
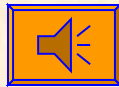


Frases complexas parte de dialeto *Megaptera
novaeangliae* (Mammalia, Cetacea)

Arraut and Vielliard, in prep.

- Abrolhos, Bahia dialeto de 2000 composto de 5 temas, emitidos consecutivamente com poucas repetições e bifurcações
- Frases muito longas (20+ min)

■ theme 1



A

A

B

C

C