

## **8. Audição e linguagem**

### **Introdução**

Os sons são vibrações periódicas do ar capazes de excitar nossos receptores auditivos (ondas sonoras), provocando uma percepção. As espécies têm diferentes capacidades para perceber sons. Assim, muitas das vibrações percebidas por cachorros ou por morcegos não são percebidas por humanos. Apesar de os sons da natureza serem ondas sonoras muito complexas, costumamos representá-las graficamente como senóides, características dos tons puros, somente produzido por diapasões. As ondas sonoras também apresentam freqüências (ou tons, medidos em Hertz ou Hz) diversas, expressas por seu comprimento de onda, e diferentes amplitudes (medidas em decibéis ou dB), que determinarão a intensidade do estímulo sonoro que sensibilizará nossos receptores auditivos. Assim, podemos determinar a sensibilidade da audição humana e de outras espécies em faixas de freqüências. Vamos observar alguns exemplos na Tabela 8.1.

**Tabela 8.1:** Faixas de freqüência audíveis por diferentes espécies

<b>Espécie (nome vulgar)</b>	<b>Faixa de freqüência</b>
Ser humano	20 a 20.000Hz (a voz humana se situa em torno de 8.000Hz)
Cachorro	60 a 45.000Hz
Morcego	2000 a 110.000
Baleia beluga	1000 a 123.000
Rato	200 a 76.000
Peixe de aquário	20 a 3.000
Elefante	16 a 12.000

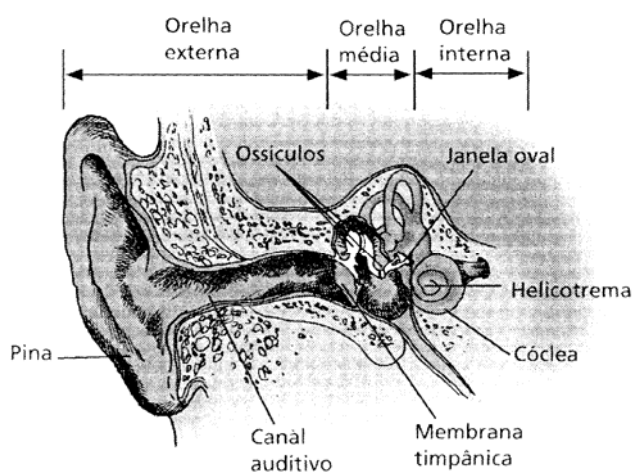
Vejamos, então, quais as estruturas necessárias e o mecanismo de funcionamento de nosso sistema auditivo.

### **Pavilhão auditivo, orelha externa, orelha média e orelha interna**

Em mamíferos, incluindo o homem, o órgão responsável por transformar vibrações sonoras em impulsos elétricos compreensíveis ao nosso Sistema Nervoso é a cóclea. Os humanos têm duas cócleas, bem protegidas dentro do osso temporal cada uma está embutida em cada um lado da cabeça,. Para chegar à cóclea, os estímulos auditivos passam pelas orelhas externas, que são compostas pelo pavilhão auricular, concha e meato auditivo externo (Figura 8.1).

A conformação anatômica destas estruturas permite que o som seja direcionado e concentrado para que sejamos capazes de melhor determinar sua localização e características. O limite entre a orelha externa e a orelha média é a membrana timpânica. As vibrações que chegam à membrana fazem-na vibrar e movimentam a cadeia de ossículos em nossa orelha média.o martelo, a bigorna e o estribo três delicados ossos (os menores no ser humano!) articulados entre si.

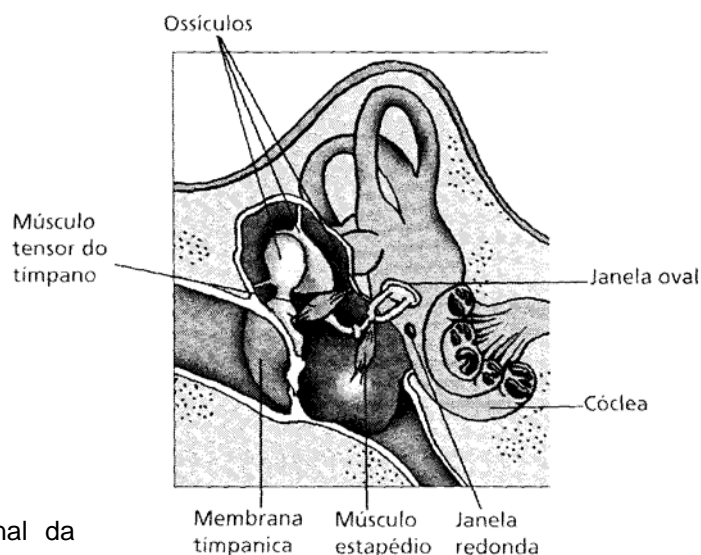
O deslocamento da membrana timpânica empurra o martelo e, conseqüentemente, movimenta a bigorna e o estribo. Este osso, por sua vez, percute a janela oval, onde se inicia a cóclea, localizada na orelha interna. A ação dos ossículos é essencial na amplificação do som que chegará à cóclea, já que o som passa do meio aéreo (o meio externo e a orelha média são repletos de ar atmosférico) para um meio líquido dentro da cóclea.



**Figura 8.1:** Os estímulos auditivos devem percorrer o meato auditivo externo para fazer vibrar o tímpano que mobilizará a cadeia de ossículos. Daí o estímulo seguirá para a cóclea e entrará no SN pelo nervo vestibulo coclear.

A ação destes ossículos, ou seja, a força com que vão retransmitir o sinal sonoro amplificando-o, pode ser modulada por dois pequenos músculos localizados na orelha média: o tensor do tímpano e o estapédio, que ancoram respectivamente o martelo e o estribo na parede óssea da cavidade, enrijecendo, quando contraídos, a cadeia e diminuindo sua mobilidade (Figura 8.2). Com isso, sons que já chegam à orelha com alto volume não precisam ser amplificados, e também as frequências não ideais para a audição humana são filtradas (as frequência ideais são aquelas próximas à faixa da voz humana).

A percussão da janela oval irá causar um deslocamento dos líquidos (perilíngua e endolíngua) que preenchem os canais cocleares, e que como veremos a seguir, irão estimular os receptores auditivos aí localizados.



**Figura 8.2:** Detalhe da porção final da orelha externa, orelha interna com os ossículos e os músculos que controlam sua mobilidade, e orelha interna com a cóclea e seus canais.

### **Organização anatômica da cóclea**

A cóclea é o órgão auditivo responsável por transformar as ondas sonoras em sinais elétricos que posteriormente serão compreendidos como os diferentes sons. Esta estrutura altamente organizada está localizada na orelha interna, com o órgão do equilíbrio. A cóclea é subdividida em três canais paralelos dispostos de maneira helicoidal, que na espécie humana apresentam-

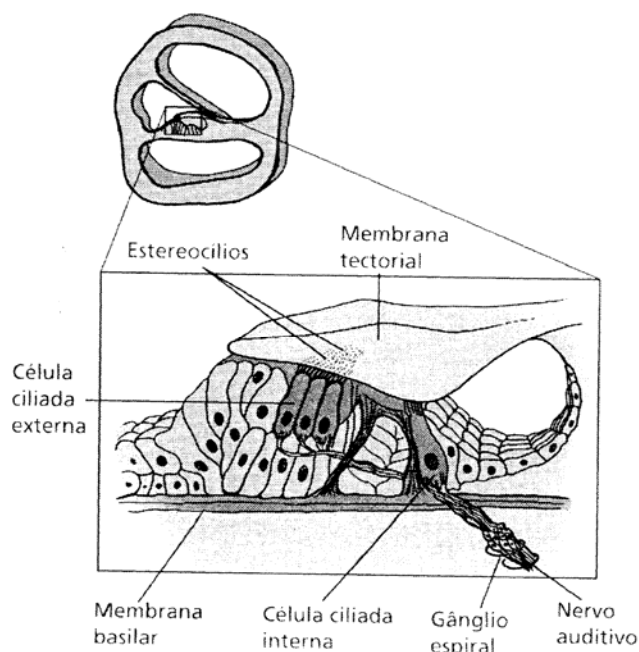
## ***Disciplina Corpo Humano e Saúde: Uma Visão Integrada - Módulo 1***

se enrolados por duas vezes e meia sobre o seu eixo. O comprimento da cóclea está relacionado às faixas de frequência audíveis pelos diferentes animais.

Aos canais cocleares foram dados os nomes de escala (rampa) vestibular, escala média (ou canal coclear) e escala timpânica. Estes canais se encontram cheios de líquido, que é responsável pela propagação da onda vibratória proveniente da orelha média. As escalas timpânica e vestibular contêm perilinfa, ao passo que o canal coclear é preenchido por endolinfa.

Na perilinfa verificamos uma concentração maior de íons sódio (níveis compatíveis com a concentração presente no líquido extracelular). Já a endolinfa é mais rica em íons potássio, semelhante à concentração deste íon no meio intracelular. Esta concentração iônica é uma característica da endolinfa, essencial à ativação dos receptores da audição. A extremidade apical da cóclea é denominada helicotrema, ou ponta da hélice. Neste local, o canal vestibular e o canal timpânico se juntam, sendo a perilinfa circulante contígua entre os dois canais. Na região basal, os dois canais são interrompidos e ficam em contato com a orelha média. A janela oval, na extremidade da escala vestibular, está em contato com o estribo na porção da orelha média. A janela redonda é uma delicada membrana, capaz de se distender, que isola a perilinfa contida na escala timpânica da orelha média. A vibração que movimentava a cadeia de ossículos termina por repercutir na janela oval, fazendo com que a linfa seja deslocada da base para o ápice da cóclea. Este movimento de líquido será necessário e suficiente para excitar nossas células receptoras aí localizadas.

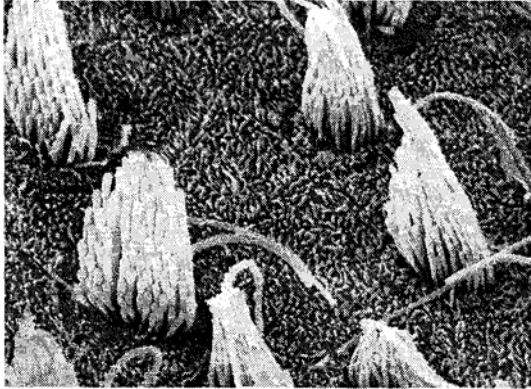
O limite divisório entre as três escalas (vestibular, médio e timpânico) é constituído por duas membranas denominadas membrana de Reissner e membrana basilar. O aparelho sensorial, denominado órgão de Corti, encontra-se sustentado pela membrana basilar, de modo que a superfície fica em contato com a endolinfa presente na escala média (Figura 8.3). O órgão de Corti contém os receptores sensoriais: células ciliadas internas e externas.



**Figura 8.3:** Detalhe do órgão de Corti, com as células ciliadas localizadas sobre a membrana basilar, e cujos cílios tocam a membrana tectorial. Note que há duas fileiras de receptores, uma mais interna e outra mais externa.

Na superfície apical destas células, encontramos um conjunto de **estereocílios** (Figura 8.4) de diferentes tamanhos e dispostos de maneira crescente, e um único **cinocílio**, maior e mais rígido, todos voltados para o canal coclear. Logo acima do órgão de Corti encontramos a membrana tectorial, composta de uma massa gelatinosa, que está fixa à parede da cóclea, próximo ao eixo da hélice. O contato entre os estereocílios e a membrana tectorial é essencial para a ativação destas células.

Uma outra região de grande importância está localizada ao longo da parede externa (lateral) da escala média, e é denominada estria vascular. Nela se concentram muitos vasos sanguíneos que têm por função fornecer energia e regular a concentração do íon potássio na endolinfa. As células ciliadas do órgão de Corti não são neurônios de projeção, ou seja, não apresentam axônios e não promovem o disparo de um potencial de ação clássico. O carregamento da informação até os centros superiores de processamento auditivo se dá através de neurônios ganglionares espirais (neurônios bipolares), cujos prolongamentos periféricos são excitados pelas células ciliadas internas, e cujo prolongamento central se projeta para os núcleos cocleares no bulbo, onde fazem uma primeira sinapse. Note, na Figura 8.3, que



as fibras provenientes do gânglio espiral somente se projetam para as células ciliadas internas.

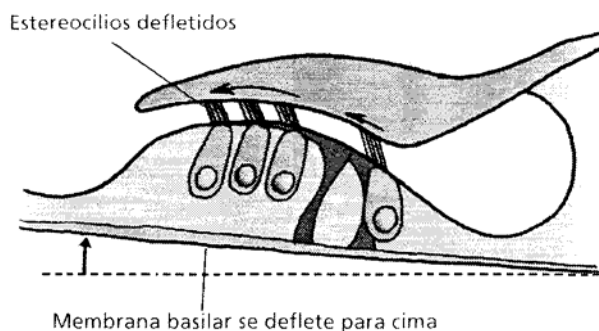
**Figura 8.4:** Eletromicrografia de células ciliadas da cóclea, vistas do topo, mostrando a disposição dos cílios. (Gentilmente cedida pelo professor Bechara Kachar, NIH, EUA.)

### **Mecanismo de transdução de sinais**

As ondas que se deslocam ao longo dos compartimentos cocleares ativam as células ciliadas da seguinte maneira: as membranas basilar e tectorial, fixas em diferentes pontos da parede medial da cóclea (de maneira paralela) sofrem um movimento ondulatório que empurra o líquido que preenche a cavidade em direção à helicotrema, tendendo a modificar os ângulos de inclinação das membranas. A membrana tectorial é, porém, mais flexível do que a membrana basal, sendo movimentada com mais facilidade. Como os estereocílios das células ciliadas externas estão quase aderidos à membrana tectorial, cria-se um "vai-e-vem" acentuado dos mesmos. Já os estereocílios das células ciliadas internas, que não chegam a estar aderidos à membrana tectorial, ativam-se pelo deslocamento do líquido subtectorial (Figura 8.5). Este tipo de movimento estereociliar desencadeia a abertura e o fechamento de canais de potássio localizados próximos às extremidades dos estereocílios.

Caso o movimento (deflexão) seja direcionado de modo a começar dos menores estereocílios em direção ao cinocílio, teremos, como resultado, a abertura de canais e a consequente despolarização da célula. Entretanto, caso o movimento se inicie do cinocílio em direção ao menor estereocílio, haverá o fechamento de canais e a consequente hiperpolarização da célula (Figura 9.7.a). Neste último caso, como os estereocílios estão imersos em líquido

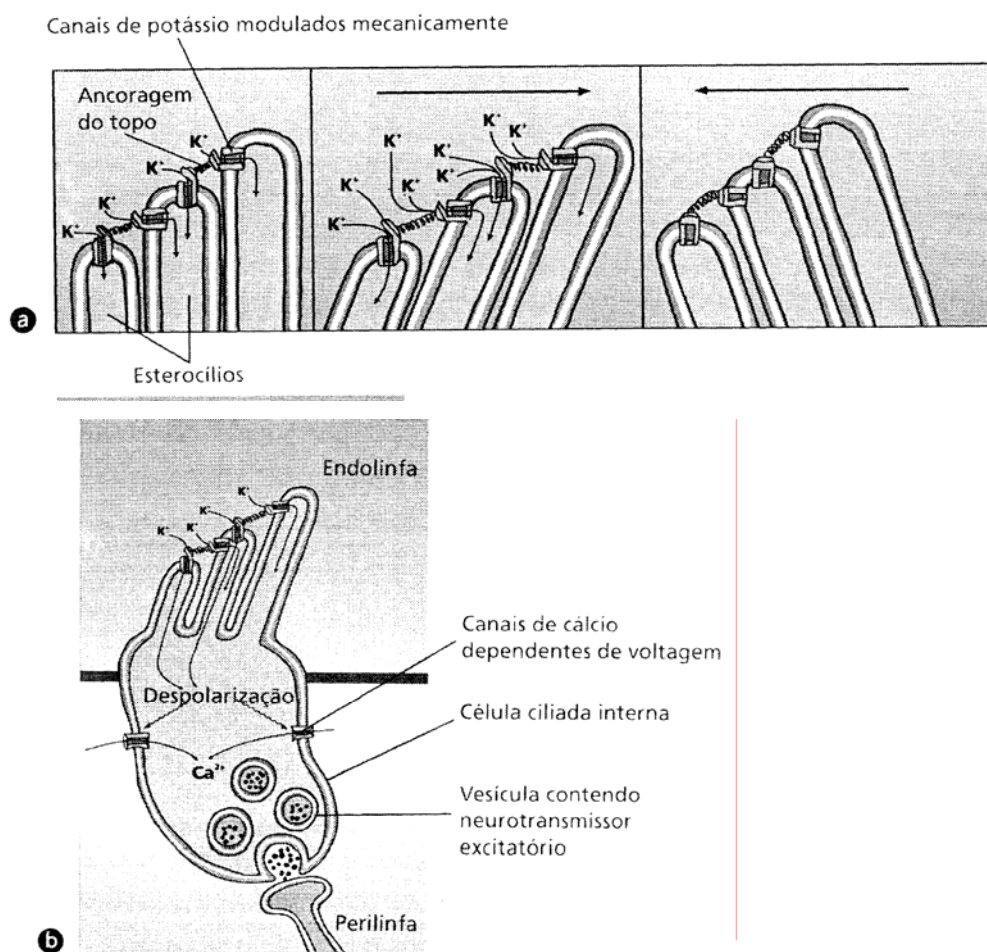
endolinfático extremamente positivo (maior concentração de íons potássio), em comparação com o meio intracelular, a abertura de canais de potássio promove a entrada destes íons para dentro da célula (corrente de entrada) de forma a despolarizá-la.



**Figura 8.5:** Estrutura do órgão de Corti quando há movimento de líquido e conseqüente modificação da angulação das membranas basilar e tectorial, movimentando os cílios das células ciliadas.

A despolarização provocada nas células ciliadas (via entrada de potássio) resulta na abertura de canais de cálcio dependentes de voltagem na base desta célula e no conseqüente influxo de cálcio por esta via, o que, por sua vez, aumenta esta despolarização. Ao mesmo tempo, o influxo aumenta a concentração citoplasmática compartimentalizada deste cátion próximo à superfície da membrana. O cálcio livre irá ativar canais de potássio sensíveis a este íon. Entretanto, estes canais estão na superfície basal desta célula e estão em contato com uma região que apresenta baixa concentração de íons potássio, teremos o efluxo deste íon. A saída do potássio resulta em uma progressiva repolarização, diminuindo a ativação daqueles canais de cálcio dependentes de voltagem. A saída continuada de cargas positivas acaba por ocasionar a hiperpolarização da célula. Com o tempo, o cálcio livre citoplasmático é compartimentalizado por organelas ou jogado para fora das células por bombas iônicas. Assim, os canais de potássio dependentes de cálcio também interrompem seu fluxo e a célula retorna ao seu estágio inicial de equilíbrio, sendo então capaz de responder a outro estímulo.

O influxo de cálcio na região basal da célula inicia também a fusão de vesículas sinápticas nas especializações pré-sinápticas. Como resultado, temos a liberação de neurotransmissores (principalmente glutamato e aspartato) e conseqüente despolarização e disparo do potencial de ação (caso a estimulação seja suficiente) no neurônio aferente (Figura 8.6.b). Neurônios ganglionares espirais (células bipolares) projetam seus axônios até os núcleos cocleares para que a informação seja carregada para os centros superiores de processamento auditivo.



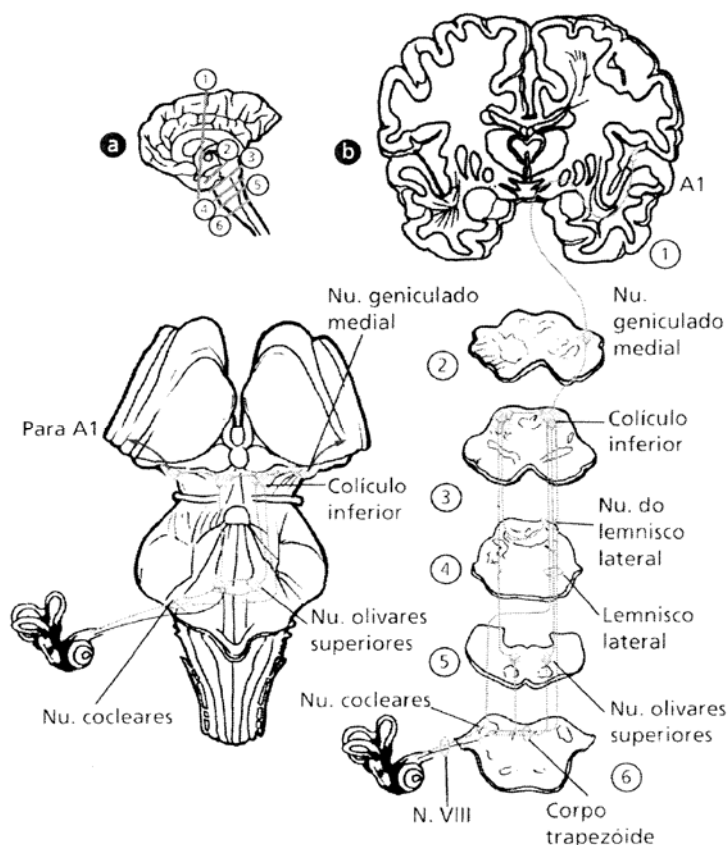
**Figura 8.6:** Os canais de potássio estão localizados na região apical dos cílios e se abrem despolarizando a célula quando há movimentação em direção ao maior cílio. (b) A entrada de potássio promove despolarização e entrada de cálcio, com conseqüente liberação de vesículas contendo neurotransmissores e ativação do terminal.



### **Vias auditivas**

Para que o estímulo sonoro proveniente das células ciliadas da cóclea chegue aos núcleos do tronco encefálico onde trarão informações de localização, e ao córtex auditivo, onde serão detalhadamente analisadas quanto a intensidade e frequência, devem percorrer vias anatômicas.

Os prolongamentos centrais dos neurônios bipolares cujos corpos celulares estão no gânglio espiral recebem a informação das células ciliadas cocleares e convergem para o gânglio. Os prolongamentos centrais destes mesmos neurônios convergem para formar o nervo auditivo que se junta ao nervo vestibular para formar o nervo vestibulo-coclear (VIII par craniano).



**Figura 8.7:** Vias de processamento auditivo em seus diferentes níveis sinápticos. Note que até o bulbo a projeção é unicamente ipsolateral, passando a ser bilateral a partir da ponte.

Como você pode observar na Figura 8.7 o sistema auditivo tem estágios sinápticos em cada um dos níveis do SN: bulbo, ponte, mesencéfalo, diencéfalo e córtex cerebral. As fibras do nervo auditivo penetram no SNC no nível do bulbo e fazem uma primeira sinapse nos núcleos cocleares. Os axônios dos neurônios bulbares se conectam com núcleos pontinos ipso e contralaterais ou com o colículo superior no mesencéfalo, dependendo do tipo de informação que estejam carreando. Do colículo superior há uma projeção ascendente para o núcleo geniculado medial do tálamo, de onde parte uma projeção pela cápsula interna para o córtex auditivo primário (A1) localizado no lobo temporal, bilateralmente.

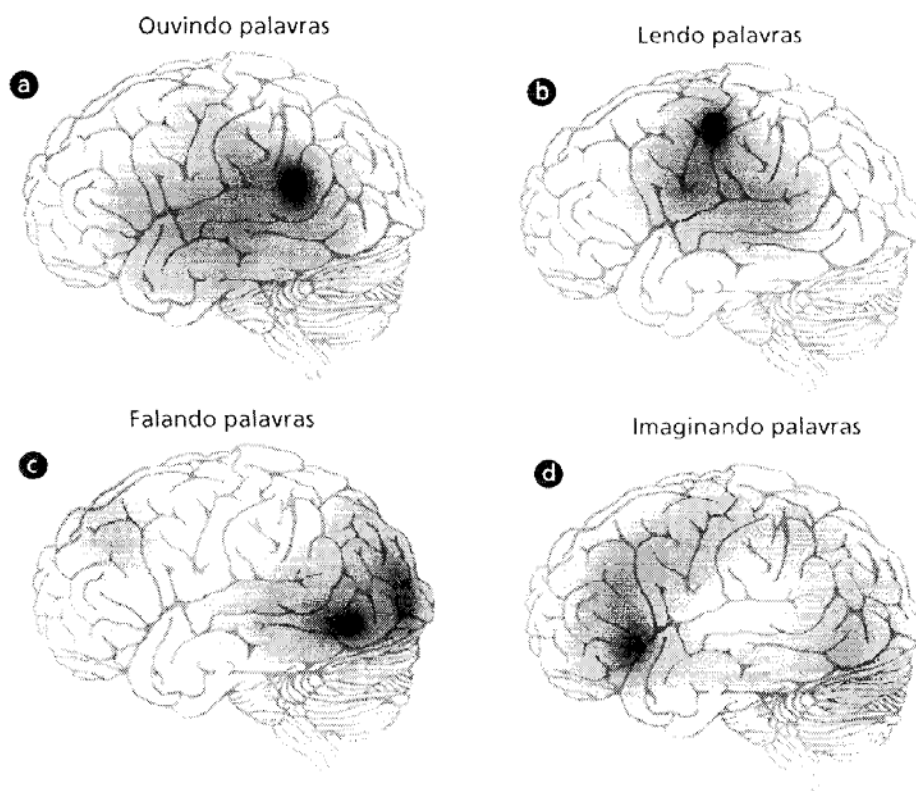
## **Linguagem**

A linguagem pode ser definida como um sistema de comunicação com regras estabelecidas que devem ser empregadas para que a mensagem enviada por um emissor seja compreendida por um receptor. Basicamente, pode ser oral, gestual, ou ainda escrita. A fala é uma forma de comunicação baseada em propriedades acústicas, que utiliza um número limitado de fonemas em combinações diversas. Para que exista, requer a operação de várias partes do cérebro e envolve emoção e pensamento, utilizando uma complexa estrutura auditiva e motora. A fala apresenta uma base neurobiológica inata que permite a aprendizagem nos primeiros meses de vida pela escuta de outros indivíduos falando e pela prática de emissão de sons.

A linguagem falada é o principal modo de comunicação entre os seres humanos, existente em todas as culturas e sociedades. Os sons de nossa fala derivam quase todos da ação da corrente de ar vinda dos pulmões sobre estruturas do aparelho respiratório, sobretudo a laringe. As unidades mais simples da linguagem falada são os **fonemas**. Combinamos fonemas para formar sílabas. Estas, por sua vez, formam palavras, que, associadas, constroem frases. Desta forma, quando falamos, encadeamos uma seqüência

de palavras conhecidas, com pausas entre elas, e diferentes entonações para expressá-las, caracterizando a prosódia.

Ao longo de nossas vidas, aprendemos palavras e seus significados, construindo um dicionário interno ou um lexicon mental que fica armazenado em nossas memórias. Estima-se que um indivíduo adulto educado tenha cerca de 50 mil palavras em seu lexicon mental. Não existe uma área única em que se armazenem todas as palavras que conhecemos, mas parece que grupos de palavras que possam ser reunidos em categorias específicas (animais, instrumentos musicais, cores, animais, plantas, por exemplo) ficam localizados em determinadas regiões do córtex cerebral. Para falar, planejamos o conteúdo da mensagem que queremos transmitir e evocamos as palavras ideais para ela, para, então, formularmos as frases. É claro que este processo ocorre naturalmente, sem que, na maior parte das vezes, nos demos conta dos processos que ocorrem.



**Figura 8.8:** Representação das áreas de ativação dos hemisférios cerebrais durante tarefas de audição e fala. Note que as áreas utilizadas nas tarefas de (a) ouvir, (b) ler, (c) falar, e (d) imaginar palavras são diferentes. Ou seja, áreas relacionadas a funções semelhantes não são

## ***Disciplina Corpo Humano e Saúde: Uma Visão Integrada - Módulo 1***

as mesmas, e muitas vezes não são contíguas, mas extensamente conectadas para que funcionem em harmonia.

Quando ouvimos palavras, neurônios de determinadas áreas corticais são ativados. Isto pode ser aferido em indivíduos humanos vivos utilizando-se a tomografia de emissão de pósitros (**PET-scan**), como mostrado na Figura 8.8. Para a emissão das palavras, entra em ação nosso córtex motor, que coordena a ação dos músculos que movimentam a mímica facial, a língua, as cordas vocais, e os músculos respiratórios (falamos quando expiramos!). Em nosso córtex frontal, há ativação de uma região muito específica, conhecida como área de Broca que é ativada quando falamos (Figura 8.8.c). Assim como temos ativação de determinadas áreas para emissão da fala, temos ativação de outras quando ouvimos, lemos ou mesmo imaginamos palavras (Figura 8.8 a, b e d). Quando conversamos, ativamos em combinação estas áreas, de modo a buscar em nosso lexicon o significado do que está sendo transmitido para emitir respostas coerentes.

Ouvimos quando captamos vibrações do ar capazes de sensibilizar nossas células ciliadas da cóclea. Mas estas vibrações passam a codificar informações com sentido, quando passam do órgão de captura (a cóclea), percorrendo vias complexas, até nosso córtex cerebral. Só aí somos capazes de discernir entre um piado, um rosnado, alguém falando japonês ou cantando em francês. A audição é, possivelmente, um sentido tão potente quanto a visão, mas seu estudo precisa ser cada vez mais aprofundado para que possamos compreendê-lo e explorá-lo ainda mais.

Texto de:

*Daniela Uziel*

Adaptado por:

*Roberta F. Ribeiro Rolando*