

## Bases Físicas da Fonação



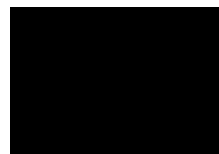
2014

Pedro Menezes - 2014

## Introdução

Um dos elementos mais esperados do nascimento é o choro do bebê. A espécie humana é a única que emite som ao nascimento.

(Kant, 1978)



Pedro Menezes - 2014

## Introdução

### A laringe

A laringe se manifesta como órgão das emoções, sendo veículo de transporte entre a mãe e o bebê. (Behlau e Pontes, 1995)

Pedro Menezes - 2014

## Sinais vocais característicos (Wäs-Hockert e Col, 1968) :

- Sinal do nascimento
- Sinal de dor
- Sinal de fome
- Sinal de prazer

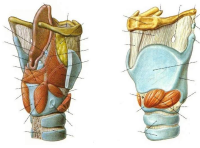


Pedro Menezes - 2014

## Funções da Laringe

### Funções Biológicas:

- 1) Impede que o ar escape dos pulmões
- 2) Impede que substâncias estranhas entrem na laringe
- 3) Expele vigorosamente as substâncias estranhas

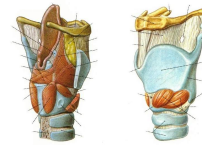


Pedro Menezes - 2014

## Funções da Laringe

### Funções Não-biológicas:

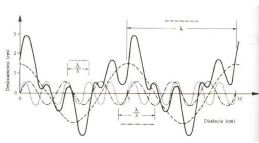
- 1) Fonação



Pedro Menezes - 2014

## Características Acústicas da Voz

- Onda complexa (Várias senóides)
- Relação Harmônica: F0 (Frequência fundamental): primeiro harmônico
- A fala está dentro de uma banda de frequências que varia de 100Hz (70-80) até 10.000 Hz (mais ou menos) (Speaks, 1999)



Pedro Menezes - 2014




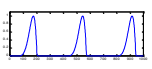
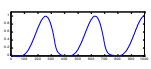
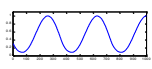
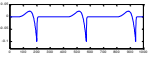
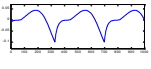
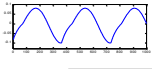
## Fonação

### Mecânica do Gerador de Som (Zemlin, 2000)

- Pulmões
- Pregas vocais
- Efeito Bernoulli
- Filtros / Ressonância (cavidades orais, nasais)
- Saúde, Ânimo etc.

Pedro Menezes - 2014

**Fonação**  
**Varição de texturas vocais**

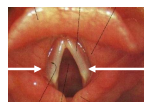
<b>Comprimido</b>	<b>Normal</b>	<b>Soproso</b>
		
		
		

Pedro Menezes - 2014

**Fonação**

**Fase Pré-fonação**

- Pregas vocais movem-se para a total ou parcialmente adução
- Início da formação da pressão sub-glótica
- Cricaritenoídeos Laterais e aritenóideos.

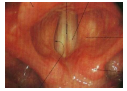


Pedro Menezes - 2014

**Fonação**

**Fase de Ataque**


- Começa com as pregas vocais aduzidas, ou quase e estende-se até os ciclos vibratórios.
- Efeito Bernoulli: Lei da aerodinâmica
- Efeito Aplicado à fonação: EB + elasticidade das pregas vocais.




Pedro Menezes - 2014

**Efeito Bernoulli**

$\frac{1}{2} \cdot d \cdot C^2 \cdot P = K$   
 $C \propto 1/P$   
 ↑ Velocidade, ↓ Pressão



Matemático Suíço do séc. XVIII Bernoulli



Pedro Menezes - 2014

## Efeito Bernoulli

### Filme 1



Pedro Menezes - 2014

## Efeito Bernoulli

### Frequência Fundamental ( $f_0$ )

H = 113, M = 204, C = 235



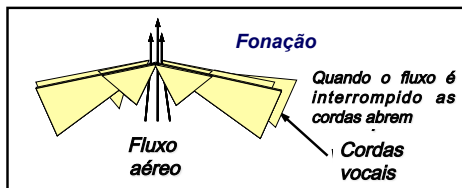
Figura 1. Otimização vibratória das pregas vocais



Dependência : Massa, Comprimento, Tensão

Pedro Menezes - 2014

## Ressonância do Trato Vocal



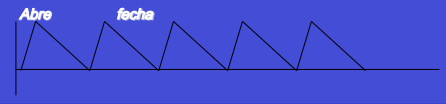
Pedro Menezes - 2014

## Ressonância do Trato Vocal

### Cordas vocais

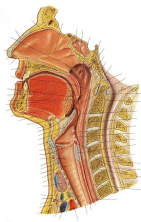
- A onda de pressão sonora produzida pela ação das cordas vocais é uma dente de serra assimétrica, dividida em harmônicos.
- A frequência fundamental da voz é determinada pelas propriedades das cordas vocais, não pelo trato vocal.

As cordas vocais são empurradas para fechar pelo ar



Pedro Menezes - 2014

Ressonância do Trato Vocal



$L \approx 17 \text{ cm}$



Pedro Menezes - 2014

Ressonância do Trato Vocal

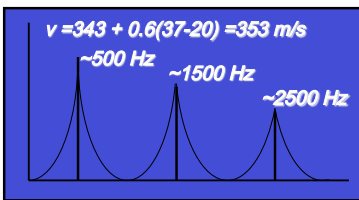
Filme 1: o trato vocal



Pedro Menezes - 2014

Ressonância do Trato Vocal

- O trato vocal é um tubo fechado com frequência fundamental de ressonância de aprox. 500 Hz



$$f_1 = v/4L$$

$$= 353/(4 \times 0.17)$$

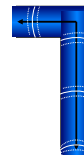
$$f_1 = 519 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 3f_1, \quad f_5 = 5f_1 \dots$$

Pedro Menezes - 2014

Ressonância do Trato Vocal

*Formantes*

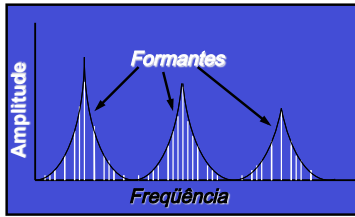


$L \approx 17 \text{ cm}$

Pedro Menezes - 2014

### Ressonância do Trato Vocal

O trato vocal filtra o espectro gerado pelas cordas vocais; a frequência filtrada é chamada de formante.



$$f_1 = v/4L$$
$$= 353/(4 \times 0.17)$$
$$f_1 = 519 \text{ Hz}$$
$$f_3 = 3f_1, \quad f_5 = 5f_1 \dots$$

Pedro Menezes - 2014

### Ressonância do Trato Vocal

#### Complexidade do trato vocal ressonador

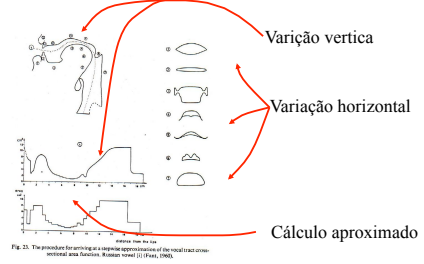


Fig. 23. The amplitude spectrum of a vowel depends on the shape of the vocal tract cross-section at various points (Fryer, 1985).

Pedro Menezes - 2014

### Ressonância do Trato Vocal

#### Resumo:

- As cordas vocais localizadas na laringe, produzem vibrações no trato.
- O trato vocal é uma coluna de ar estacionário de aproximadamente 17 cm de comprimento, que ressoa em ~500, 1500 e 2500 Hz.
- A forma do trato vocal funciona como um filtro acústico, chamado de formante, que modifica a amplitude dos harmônicos produzidos pelas cordas vocais.

Pedro Menezes - 2014

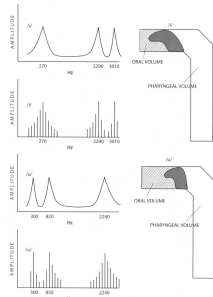
### Ressonância do Trato Vocal

#### Filme 3: Síntese



Pedro Menezes - 2014

### Posição da língua e formantes



Pedro Menezes - 2014

### Mecanismo de controle de frequência



#### Elevação da frequência vocal

- $\uparrow$  comprimento das ppvv =  $\downarrow$  área transversal (massa)
- $4X \downarrow$  massa =  $2X \uparrow$  frequência (Hollien & Curtis, 1962)
- Tensão não é separada da massa
- Cricotireóideos, tiroaritenóideos e os cricoaritrnóideos posteriores (Timcke et al, 1958)

Pedro Menezes - 2014

### Mecanismo de controle de frequência



#### Mecanismos para baixar a frequência

- $\downarrow$  tensão e  $\uparrow$  massa por unidade de comprimento
- Tiroaritenóideos, cricoaritenóideos e extrínsecos da laringe.

Pedro Menezes - 2014

### Mecanismo de controle de intensidade



- A duração da fase de fechamento aumenta a intensidade Fairbanks (1959)
- O nível de intensidade  $\uparrow$  8 a 12 dB quando  $2X$  pressão sub-glótica
- A resistência glótica  $\uparrow$  é compensada  $\uparrow$  da pressão
- **adução:** Cricoaritenóideos laterais e aritenóideos;
- **aumento da tensão:** tiroaritenóideos e/ou cricotireóideos

Pedro Menezes - 2014