

Módulo 12

Física da Fala e da Audição

A Voz Humana IV

Reconhecimento da Fala

Prof. Edmilson Manganote

Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW)

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

mangano@ifi.unicamp.br

**Quais as utilidades da
AVALIAÇÃO ACÚSTICA
DA VOZ ?**

Utilização da Acústica

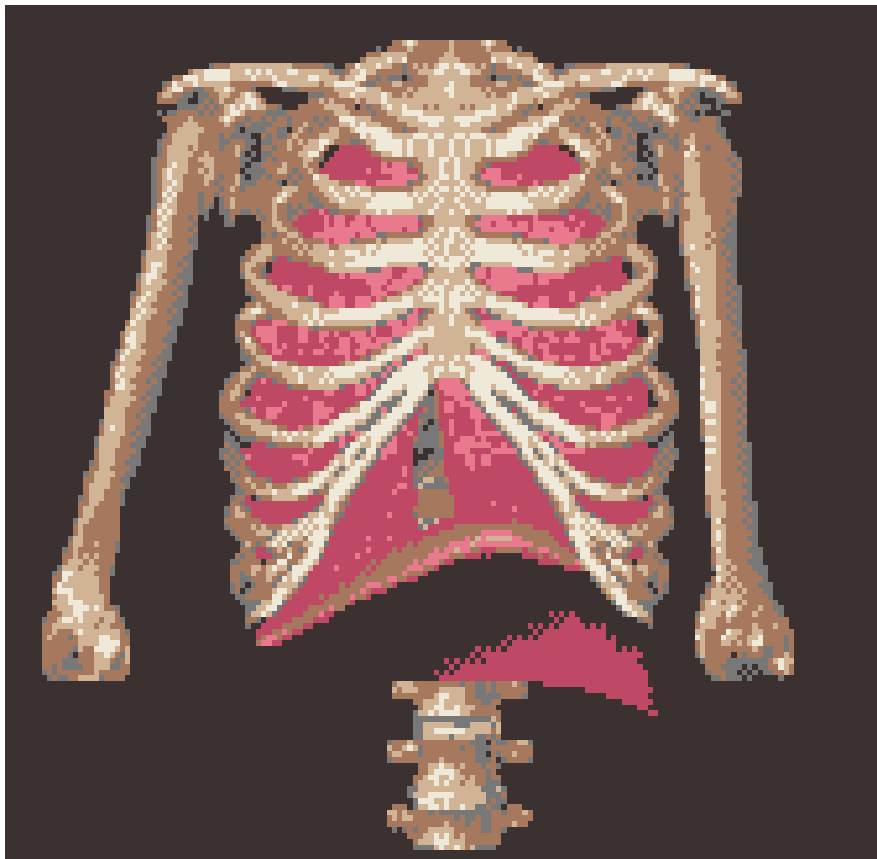
- Maior compreensão do *output* vocal
- Feedback visual para os pacientes
- Criação de dados normativos de populações
- Documentação e linha de base do cliente
- Monitorar a evolução de um tratamento
- Acompanhar o aperfeiçoamento vocal
- Detectar precocemente problemas vocais

Avaliação acústica

- Forma complementar da avaliação perceptivo-auditiva da voz.
- Auxilia na obtenção de um diagnóstico mais preciso.
- Por meio da análise acústica é possível extrair e quantificar os componentes do sinal vocal como frequência fundamental e demais harmônicos, os formantes, o ruído, além das medidas de perturbação da frequência e da amplitude.
- Vantagem: possibilidade de demonstrar “visualmente” a voz, facilitando a compreensão das alterações vocais.

FONTE DE ENERGIA

AR EXPIRADO DOS PULMÕES



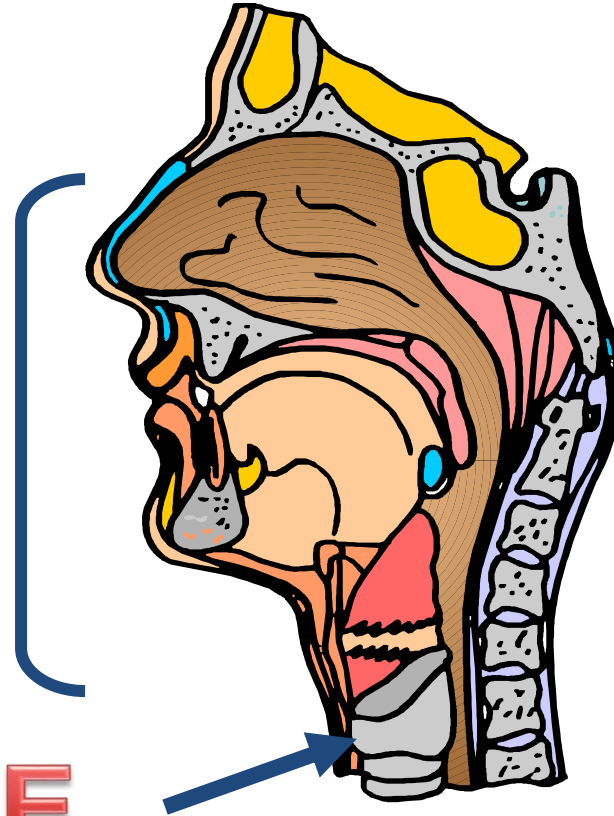
Nenhum som
é produzido
sem um suprimento
de energia

FONAÇÃO

TRATO VOCAL

RESSONADOR (FILTRO)
Articulação

LARINGE



A FONTE GLÓTICA



Fluxo de ar

Onda de mucosa

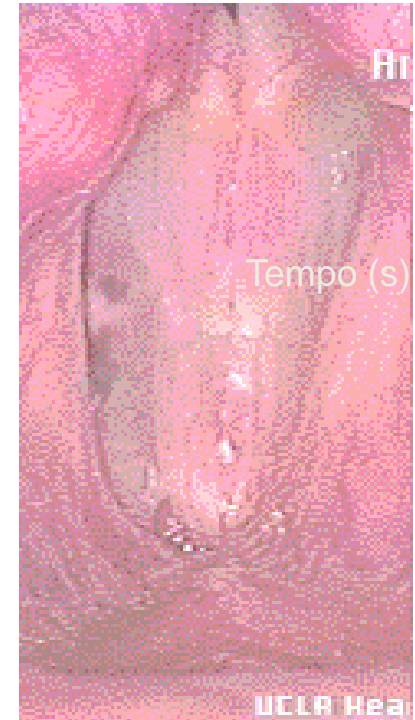
Frequência Fundamental F_0

Velocidade na qual uma forma de onda se repete por unidade de tempo

Número de ciclos glóticos em um segundo (Hz)

É determinada:

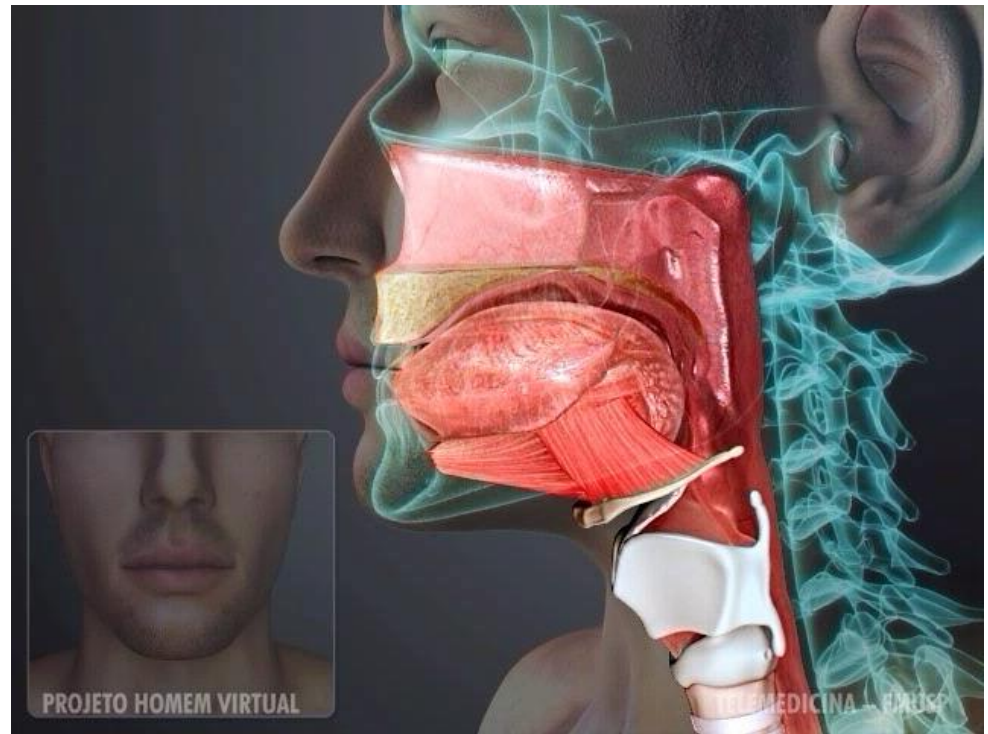
- **Comprimento: natural e produzido**
- **Massa**
- **Tensão**



RESSONÂNCIA - AMPLIFICAÇÃO DA VOZ

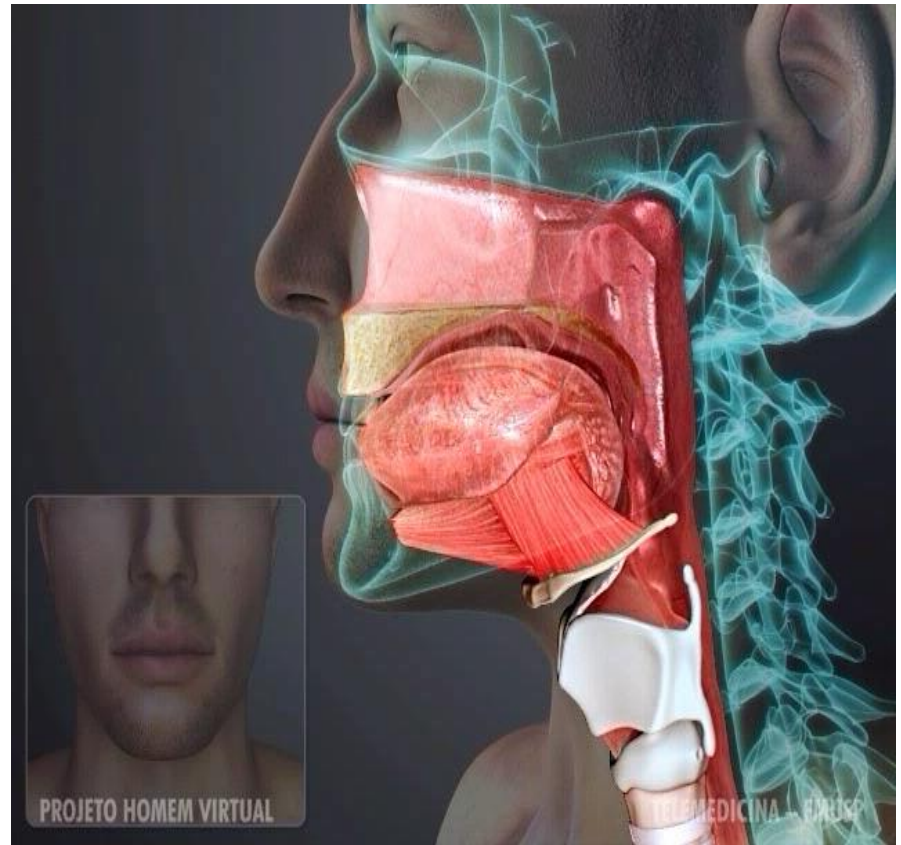
**O som produzido
nas pregas
vocais**

**AMPLIFICADO
CAIXAS DE
RESSONÂNCIA**

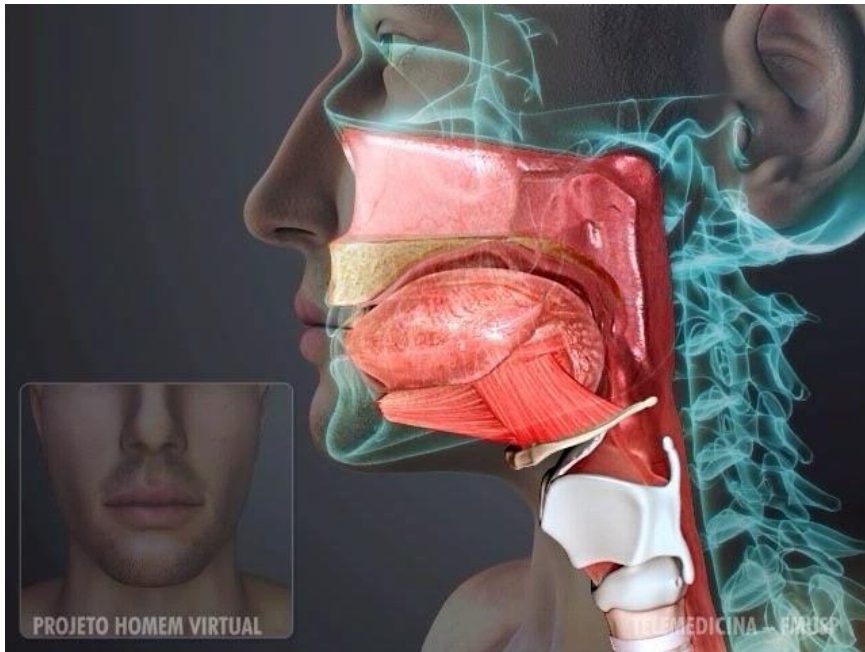


ARTICULAÇÃO

O trato vocal
molda
o som
e permite sua
identificação



Articulação de Vogais

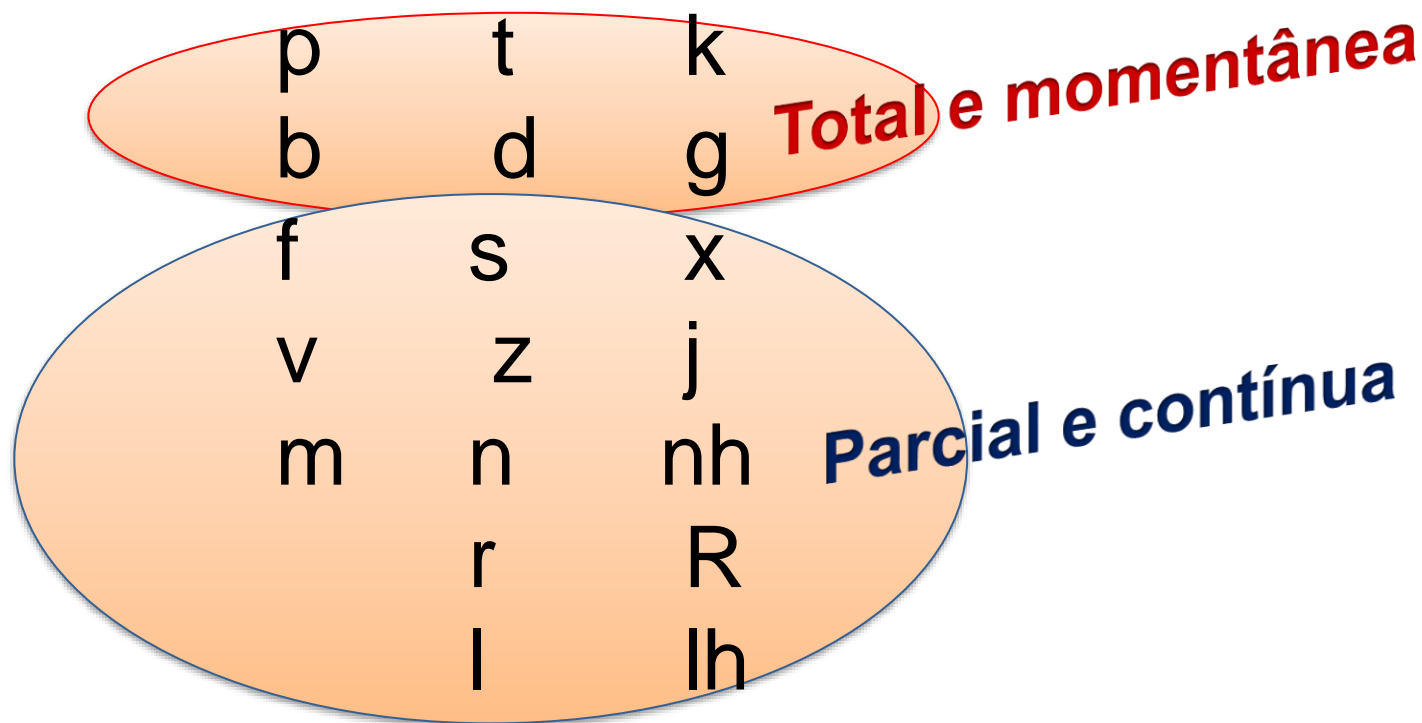


FONTE GLÓTICA

CONSOANTES



Obstrução da passagem do ar:



CONSOANTES



Obstrução na laringe:

surdas

p t k

b d g

f s x

v z j

m n nh

r R

l lh

sonoras

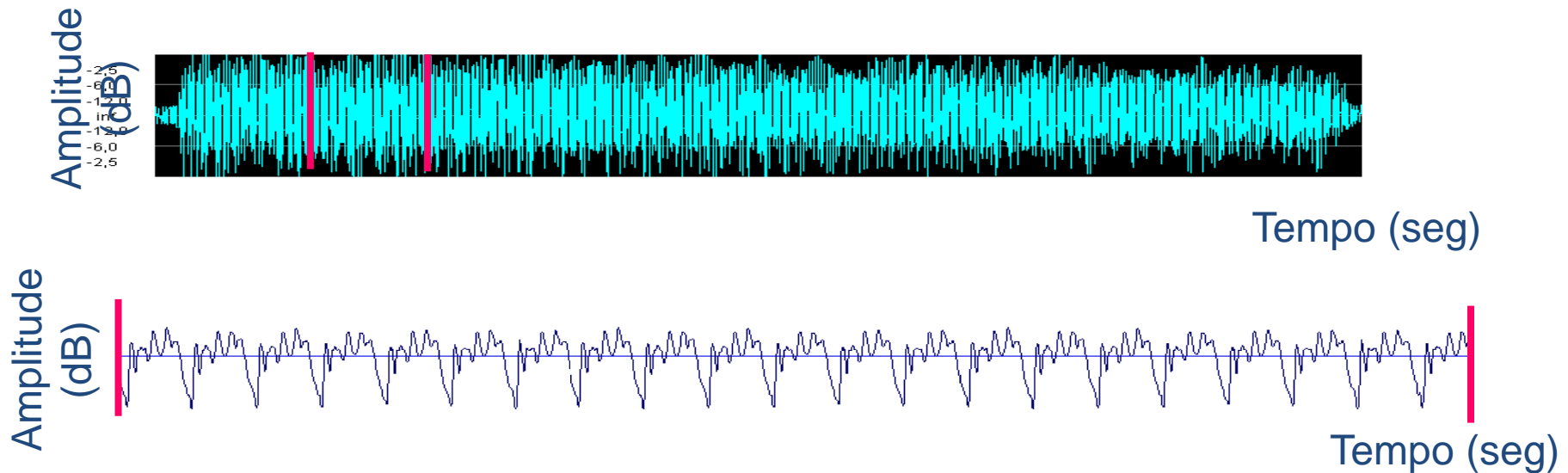
CONHECENDO O ESPECTRO DO SOM

Características acústicas da voz

- A **voz** é uma **onda sonora** produzida pela vibração das pregas vocais durante a passagem aérea.
- É uma onda **complexa** – é a união muitas ondas senoides
 - constituído por uma **frequência fundamental (f_0)** e
 - inúmeros componentes da f_0 , **harmônicos**
- É uma onda **quase periódica**
- A voz é amplificada nas cavidades de ressonância.

VOZ

ONDA COMPLEXA QUASE PERIÓDICA



Somente vogais
tem ondas quase periódicas

Transformada de Fourier (TF)



PERMITIU A ANÁLISE ACÚSTICA DO SOM

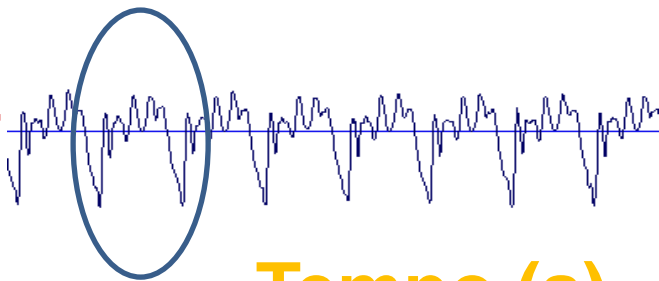
Transformada de Fourier (TF)

“Ondas periódicas complexas
podem ser analisadas
em seus componentes sinusoidais,
determinando-se a amplitude e a fase
de cada um deles.”

Jean Baptiste Fourier (1768 – 1830) Matemático francês séc. XIX

**Sinal de onda
periódica**

amplitude

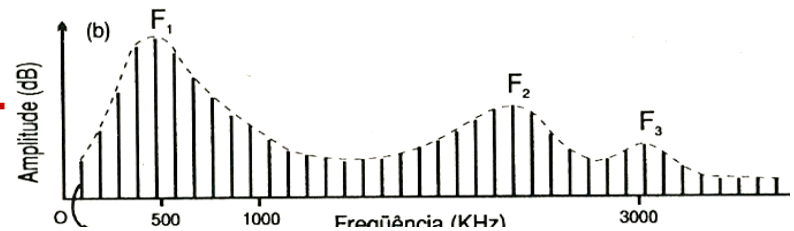


Tempo (s)



ESPECTRO

amplitude

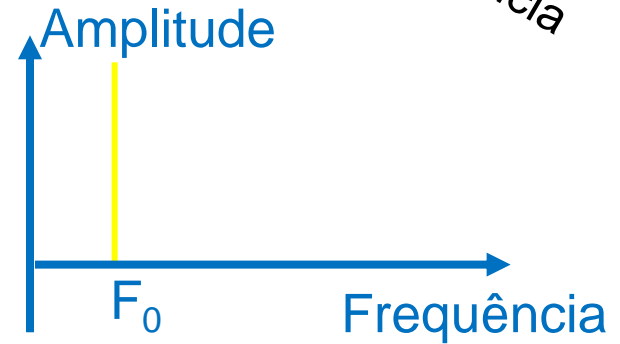
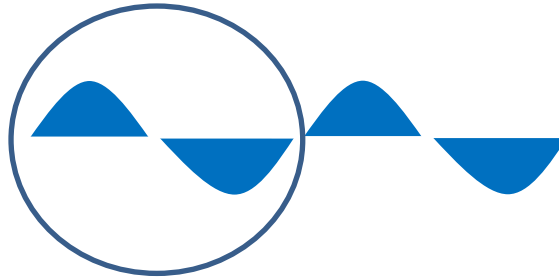


Frequência

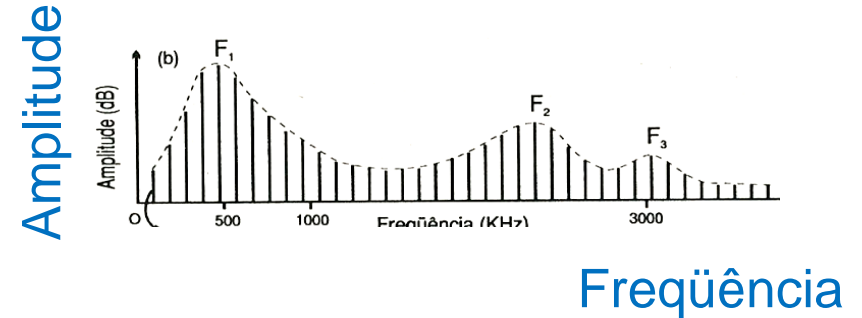
Espectro

relação entre
amplitude e frequência

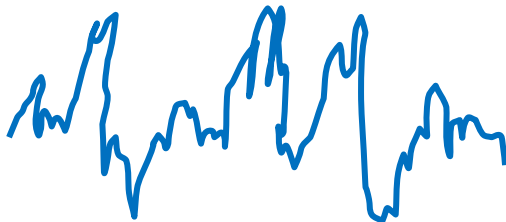
Tom puro
(senoide)



Onda
complexa

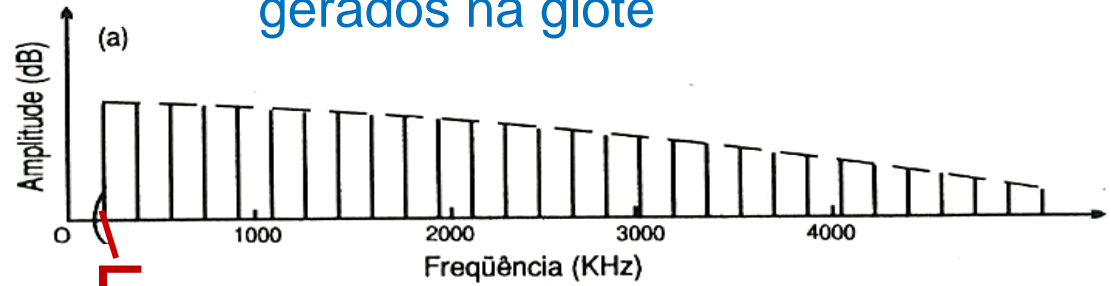


Ruído



fenômeno acústico não periódico,
sem componentes harmônicos definidos.

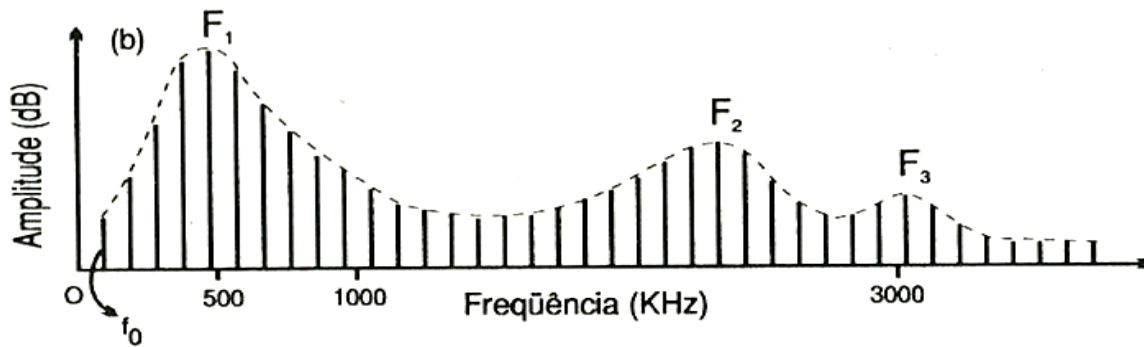
Harmônicos gerados na glote



O primeiro harmônico é a F_0

Som produzido na glote

Som modificado pelo Trato vocal



Amplificação de grupos de harmônicos no

Trato vocal (Formantes)

Harmônicos

Harmônicos são frequências múltiplas da

Frequência fundamental (f_0) também chamada de **primeiro harmônico**

(f_1) $\rightarrow f_1 = f_0$

A frequência do 2º harmônico (f_2) é duas vezes o valor da frequência fundamental (f_0) \rightarrow **$f_2 = 2.f_0$**

O 3º harmônico (f_3) é três vezes a $f_0 \Rightarrow$ **$f_3 = 3.f_0$**

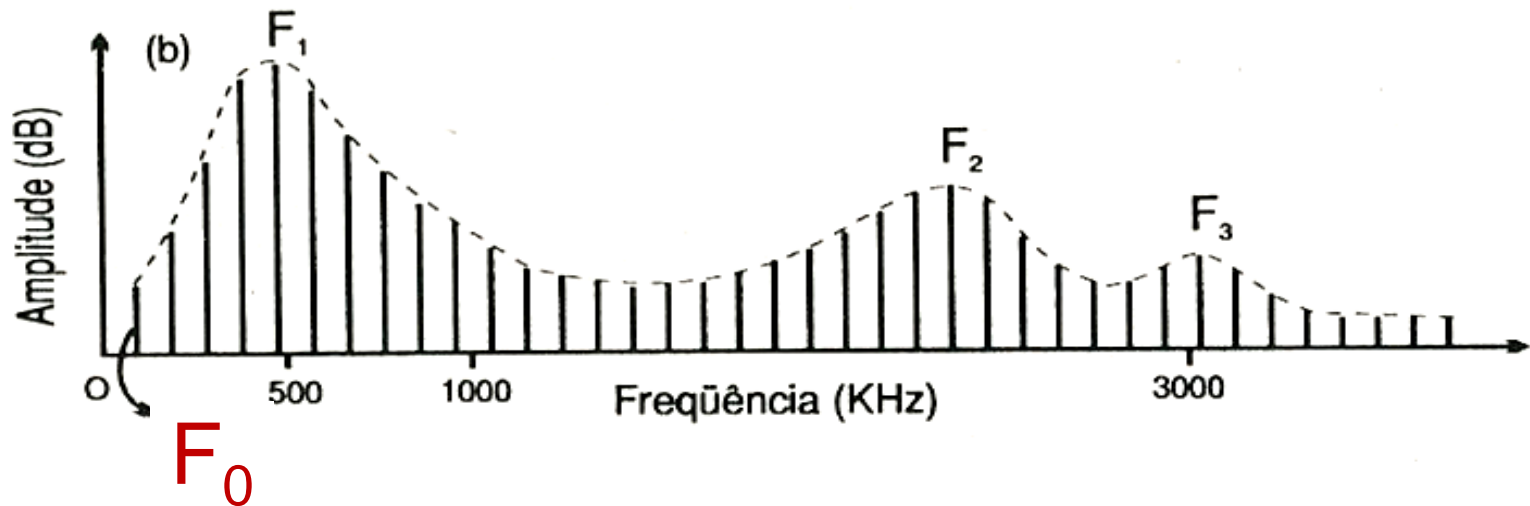
Assim por diante \rightarrow **$f_n = n.f_0$**

HARMÔNICOS

São ondas componentes da Frequência fundamental (F_0)

São todos múltiplos da F_0

Todos gerados na glote

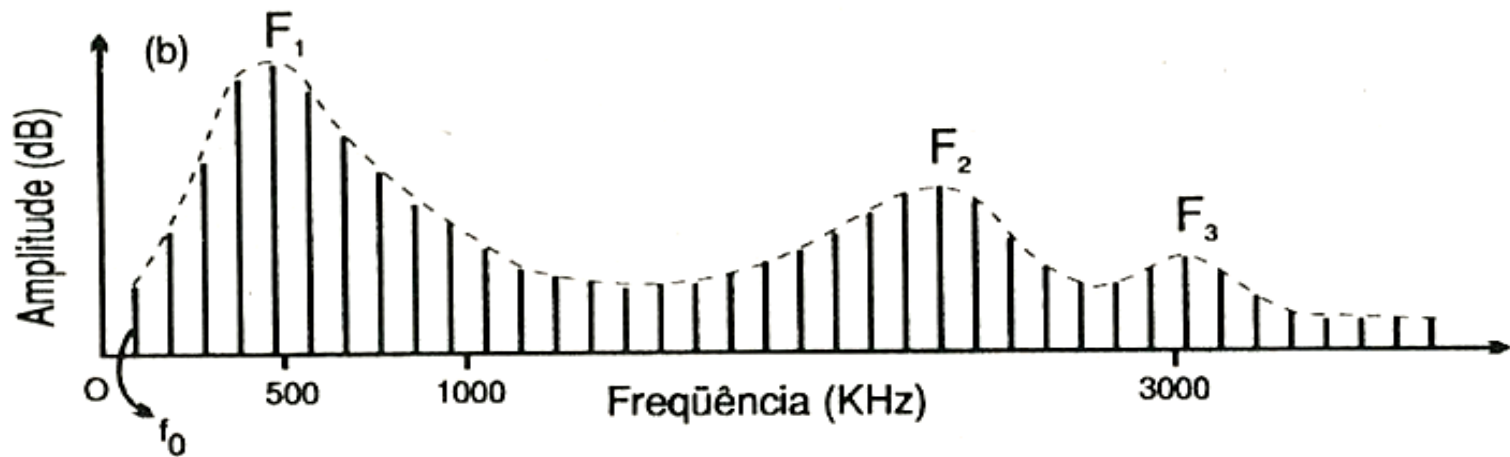


O primeiro harmônico é a F_0

FORMANTES DO SOM

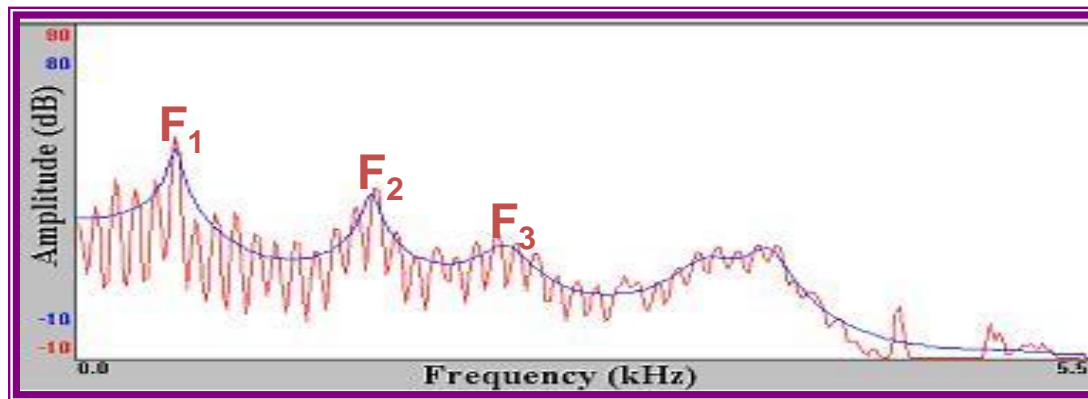
Grupos de harmônicos amplificados

Faixas de frequência com maior energia



FORMANTES DO SOM

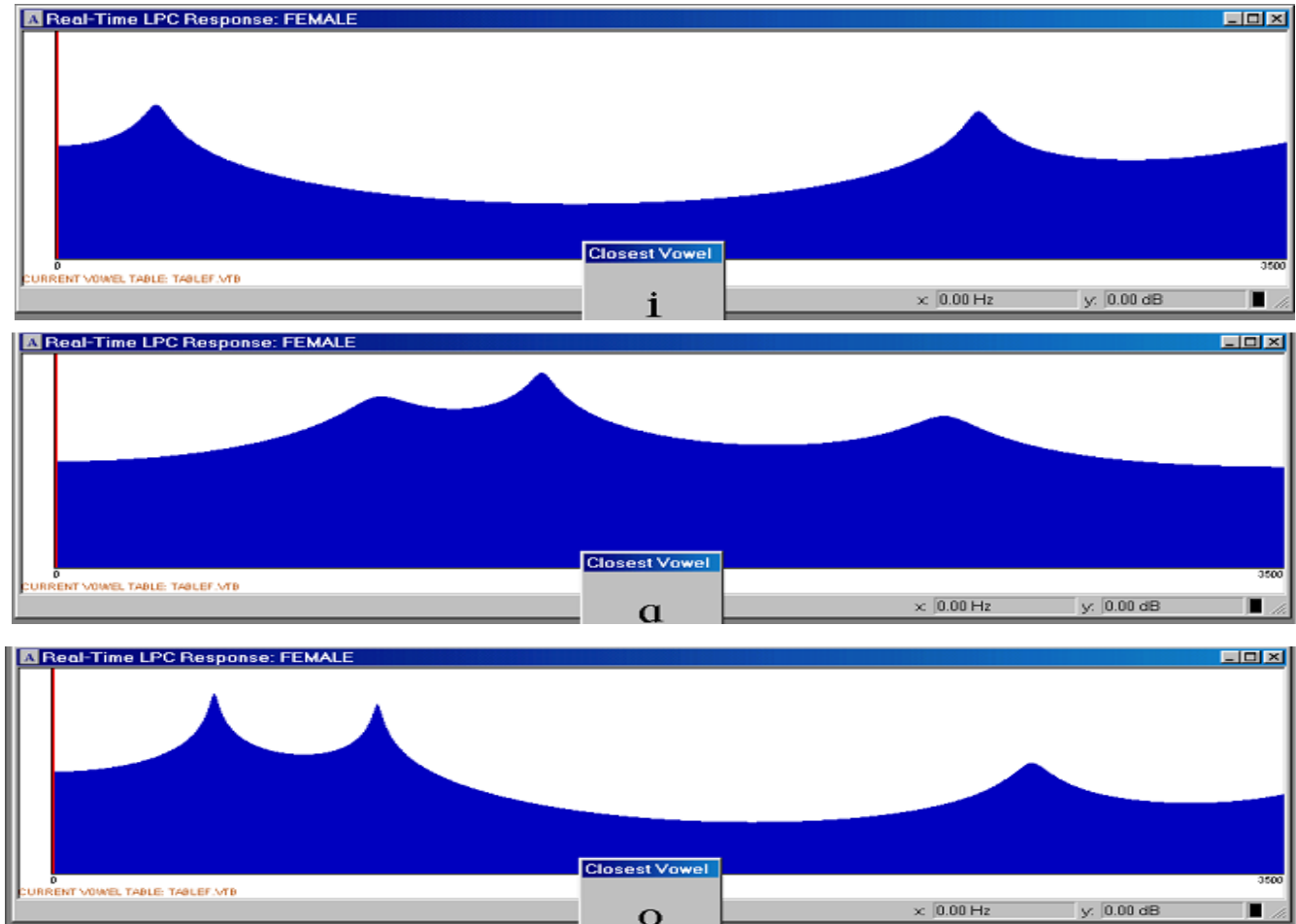
É o **Trato Vocal** que amplifica grupos de harmônicos
Movimento da língua, lábios e palato.



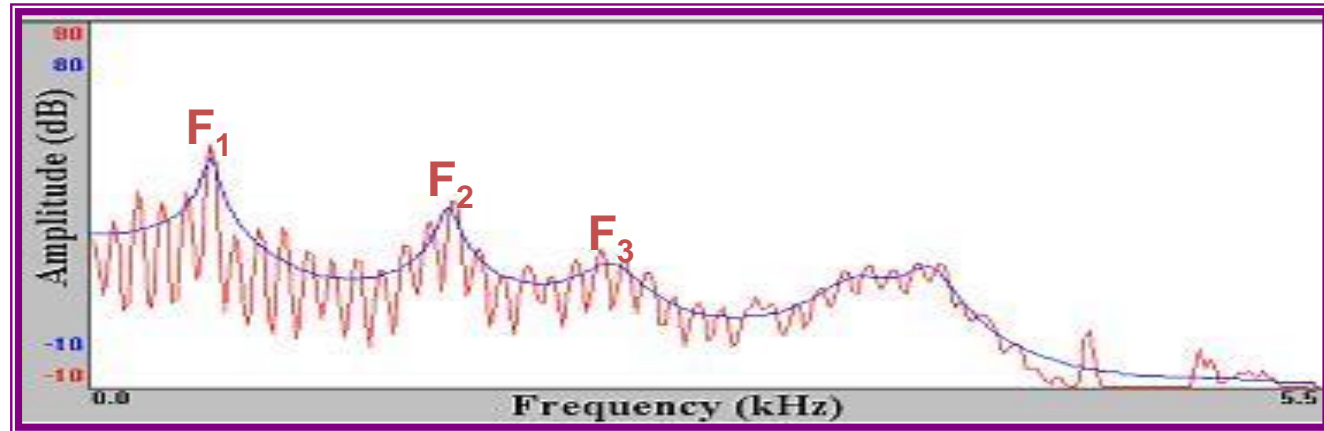
Corresponde a um mecanismo articatório que
define as VOGAIS

VOGAIS

São identificadas pelos grupos de harmônicos amplificados no Trato vocal

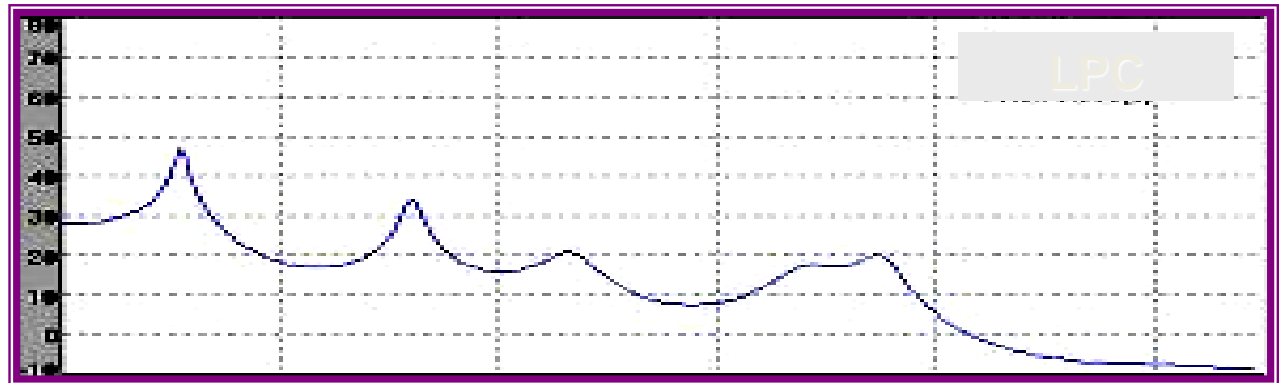


FFT - Fast Fourier Transformation

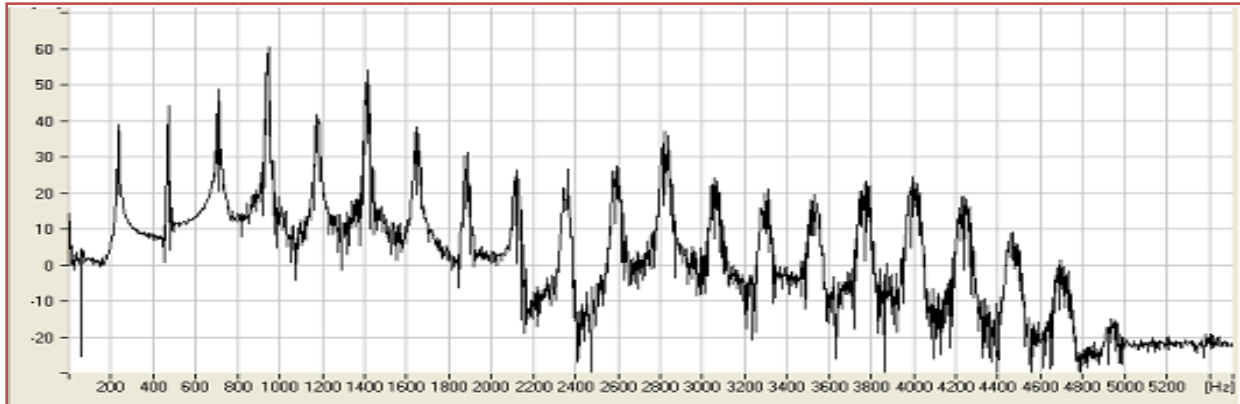


Tipos de espectros da voz humana que resalta as frequências dos FORMANTES

LPC – Linear Predictive Coding



Envelope do espectro

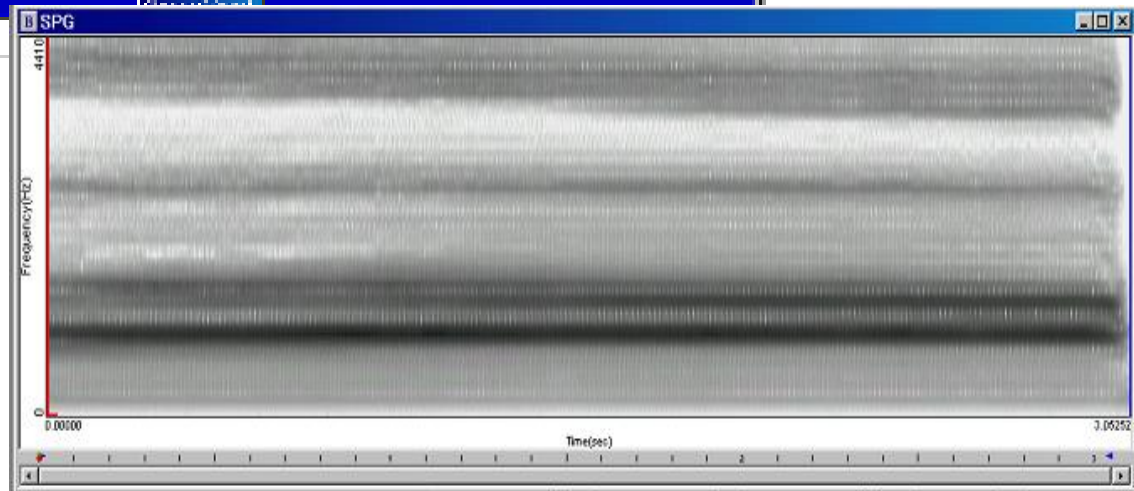


FFT



LPC

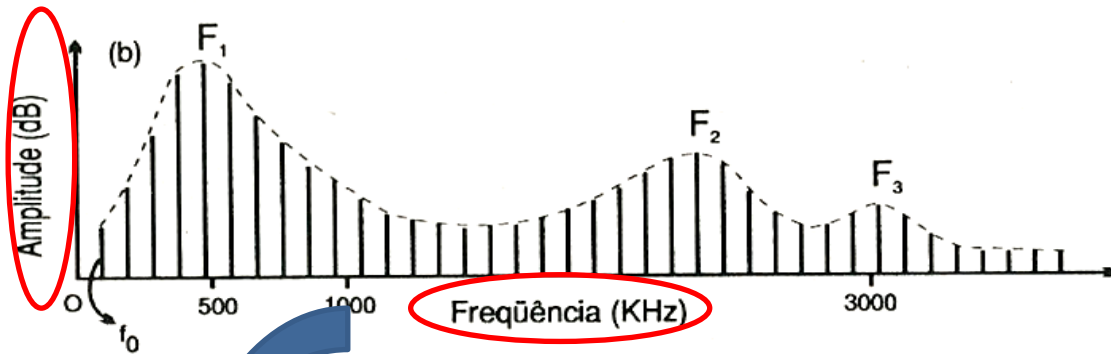
Espectrograma 3D



Espectrografia acústica

- A espectrografia acústica é realizada por meio da análise do espectrograma, um gráfico tridimensional que apresenta a frequência, medida em Hertz (Hz), na ordenada, o tempo, medido em segundos (s), na abscissa e intensidade, medida em decibel (dB), de acordo com a intensidade de coloração do traçado.
- Os filtros utilizados nos espectrogramas são o de banda ou faixa estreita, ideal para a visualização dos harmônicos do som, e o de banda ou faixa larga, que facilita a observação dos formantes.

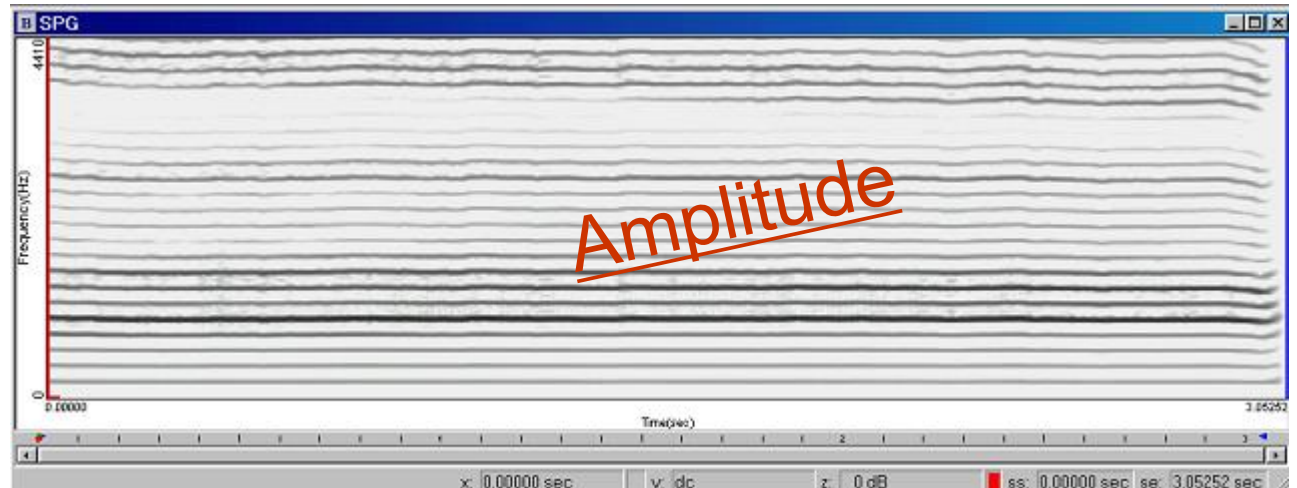
ESPECTROGRAMA



Amplitude
Intensidade
Coloração

Gráfico 3D

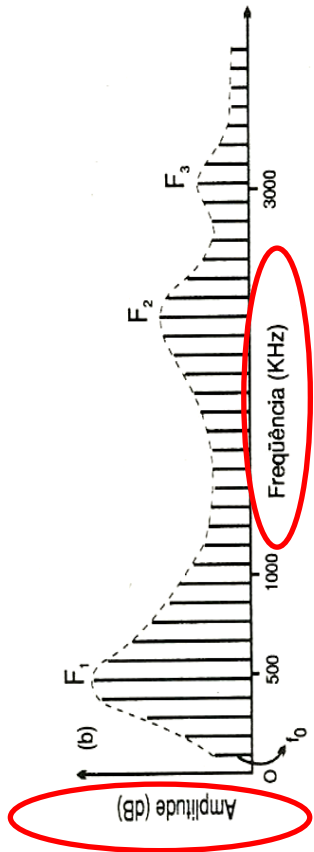
Frequência



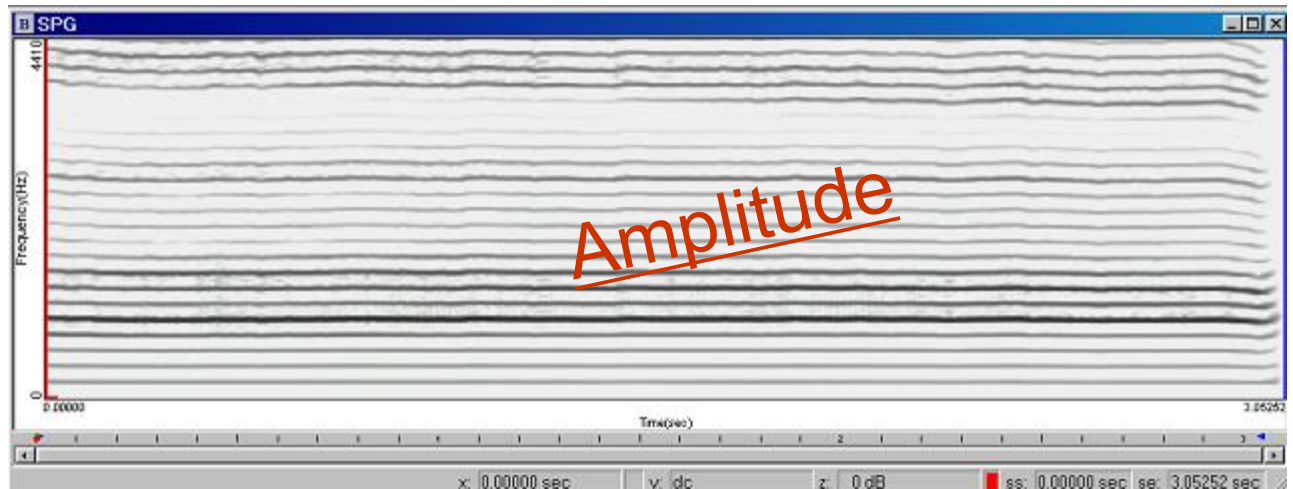
Tempo

ESPECTROGRAMA

Gráfico 3D



Frequência



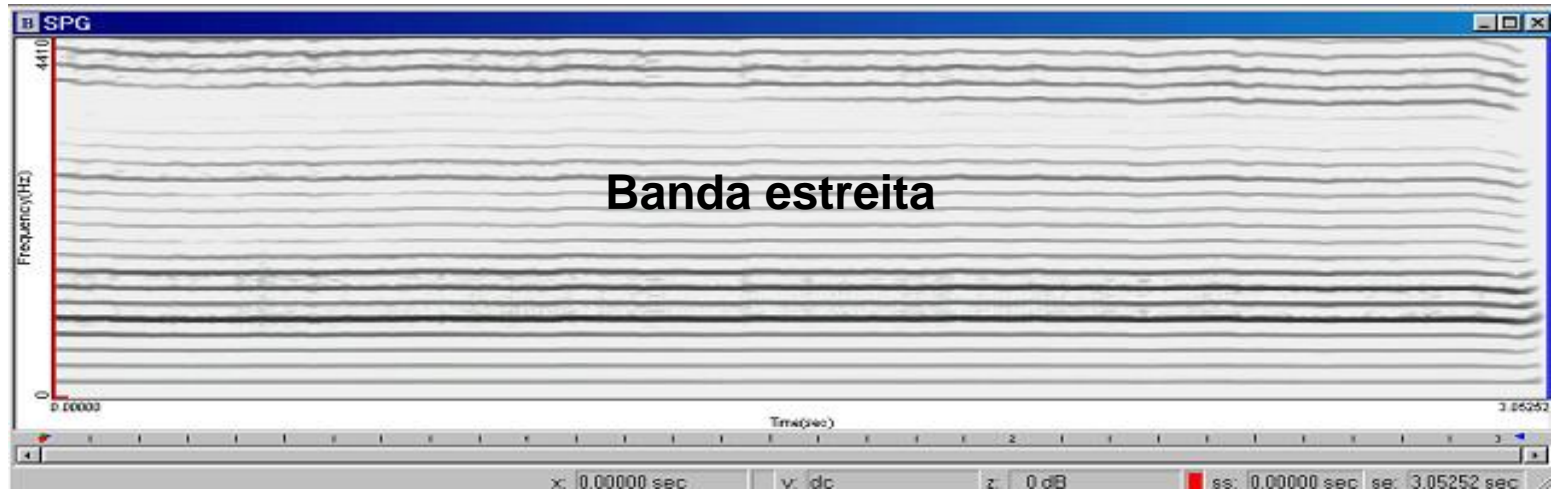
Tempo

ESPECTROGRAMA /a/

Frequência

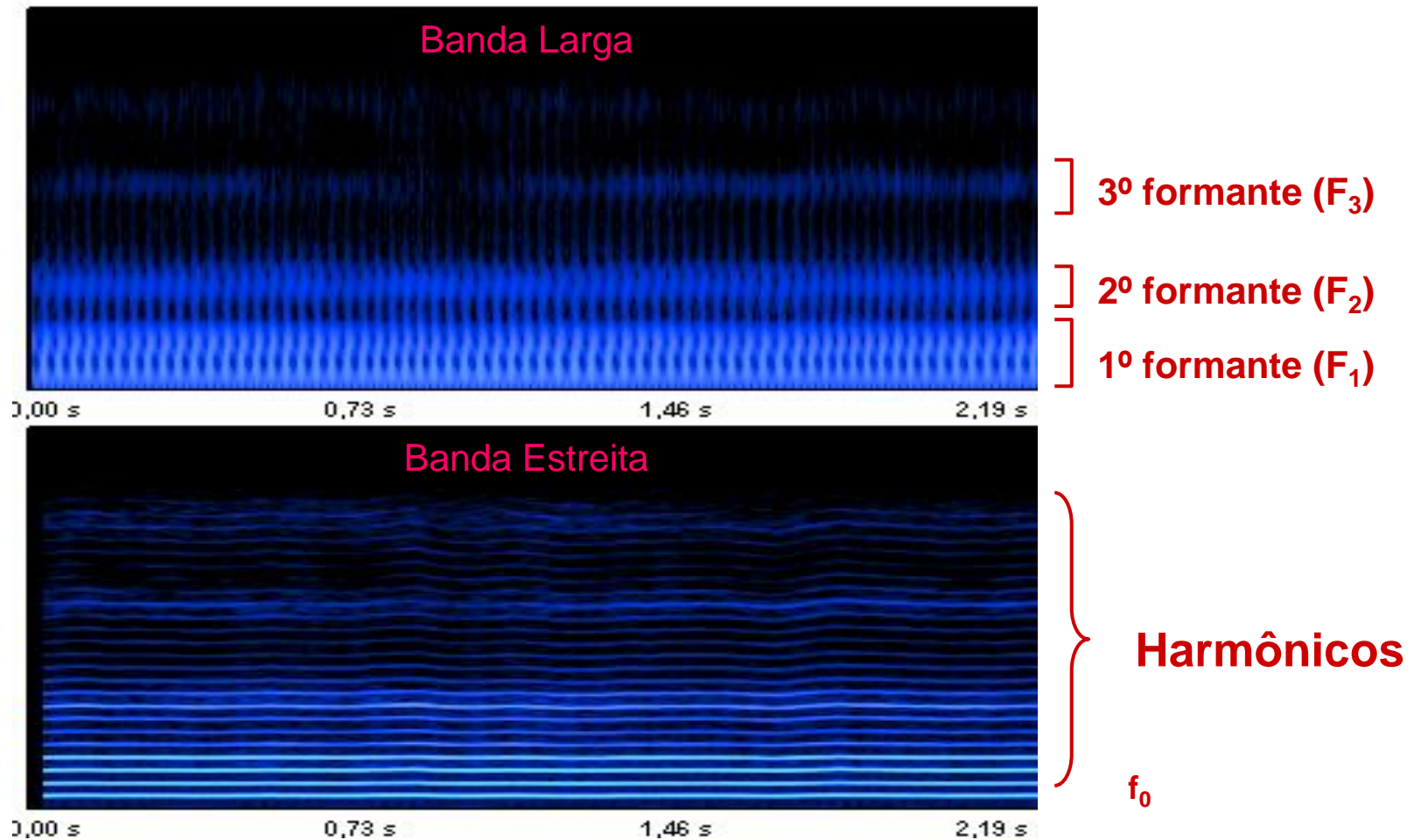


Frequência



Tempo

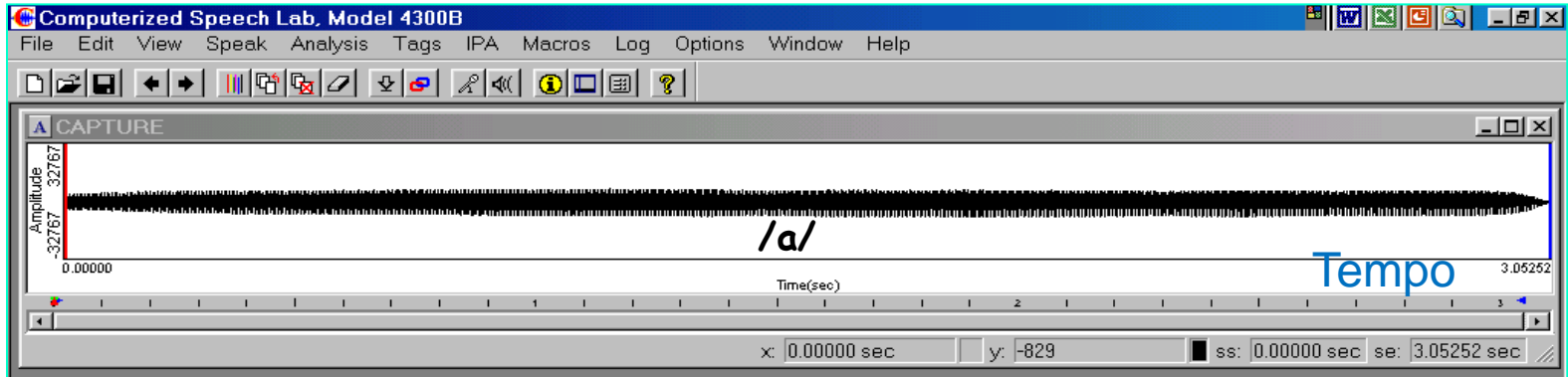
Espectrograma



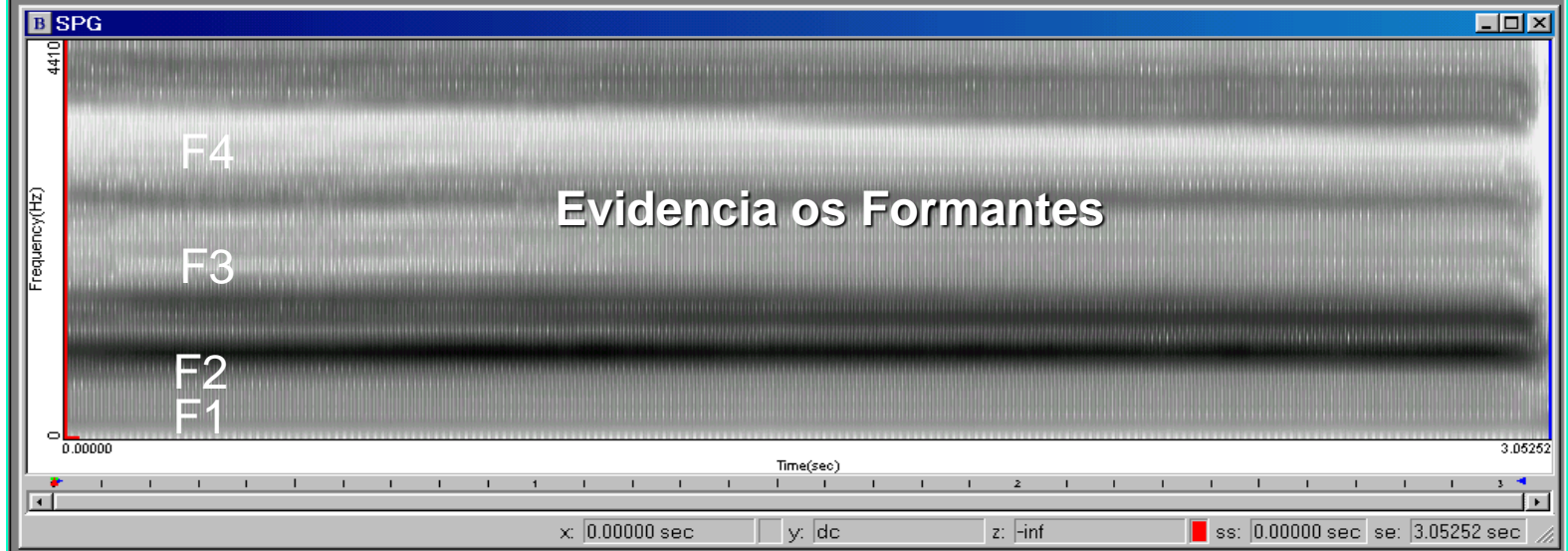
ESPECTROGRAMA

Banda LARGA

Amplitude



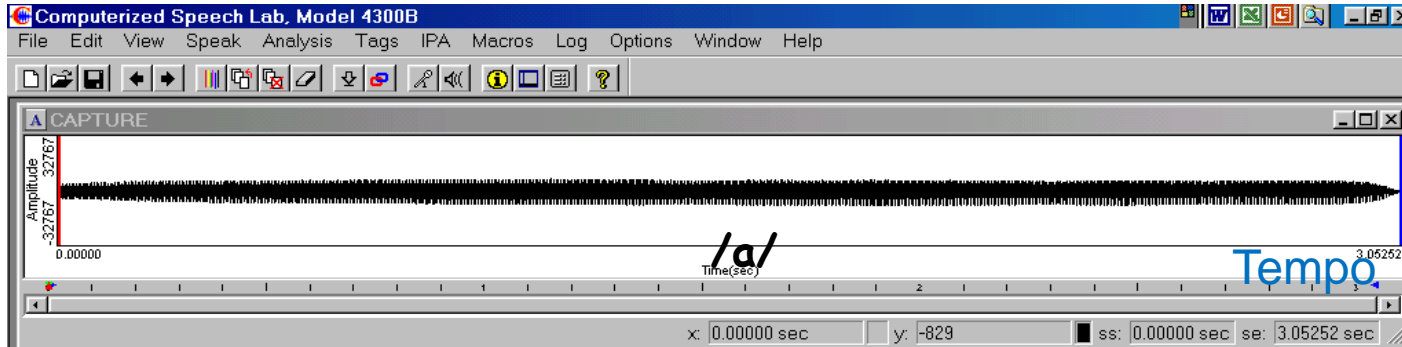
Frequência



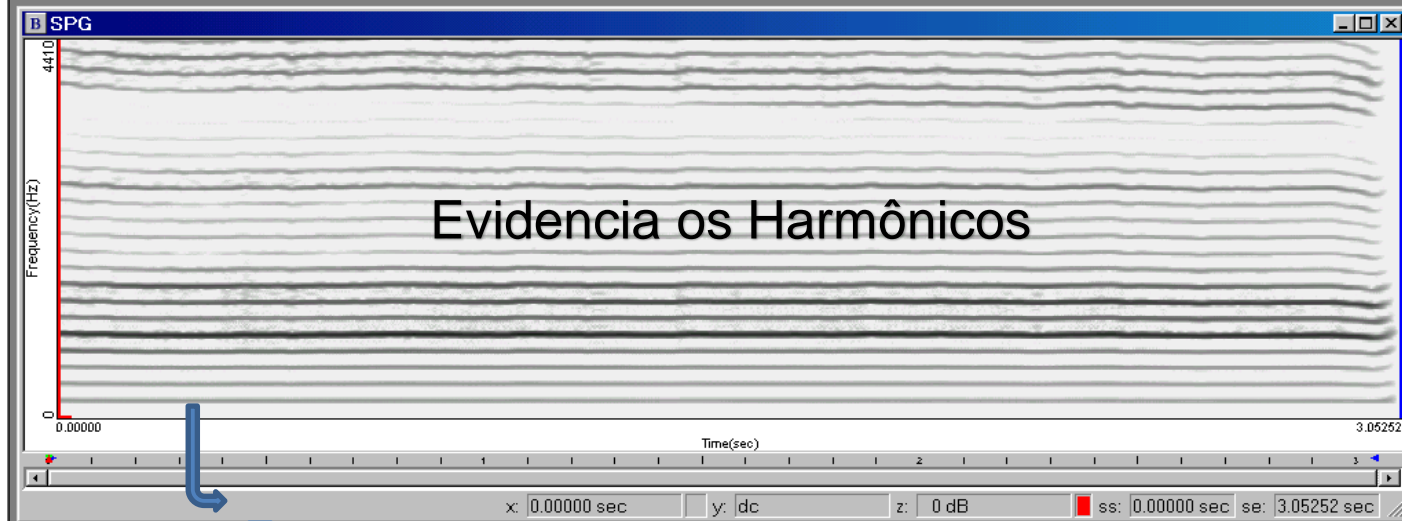
ESPECTROGRAMA

Banda ESTREITA

Amplitude



Frequência



Evidencia os Harmônicos

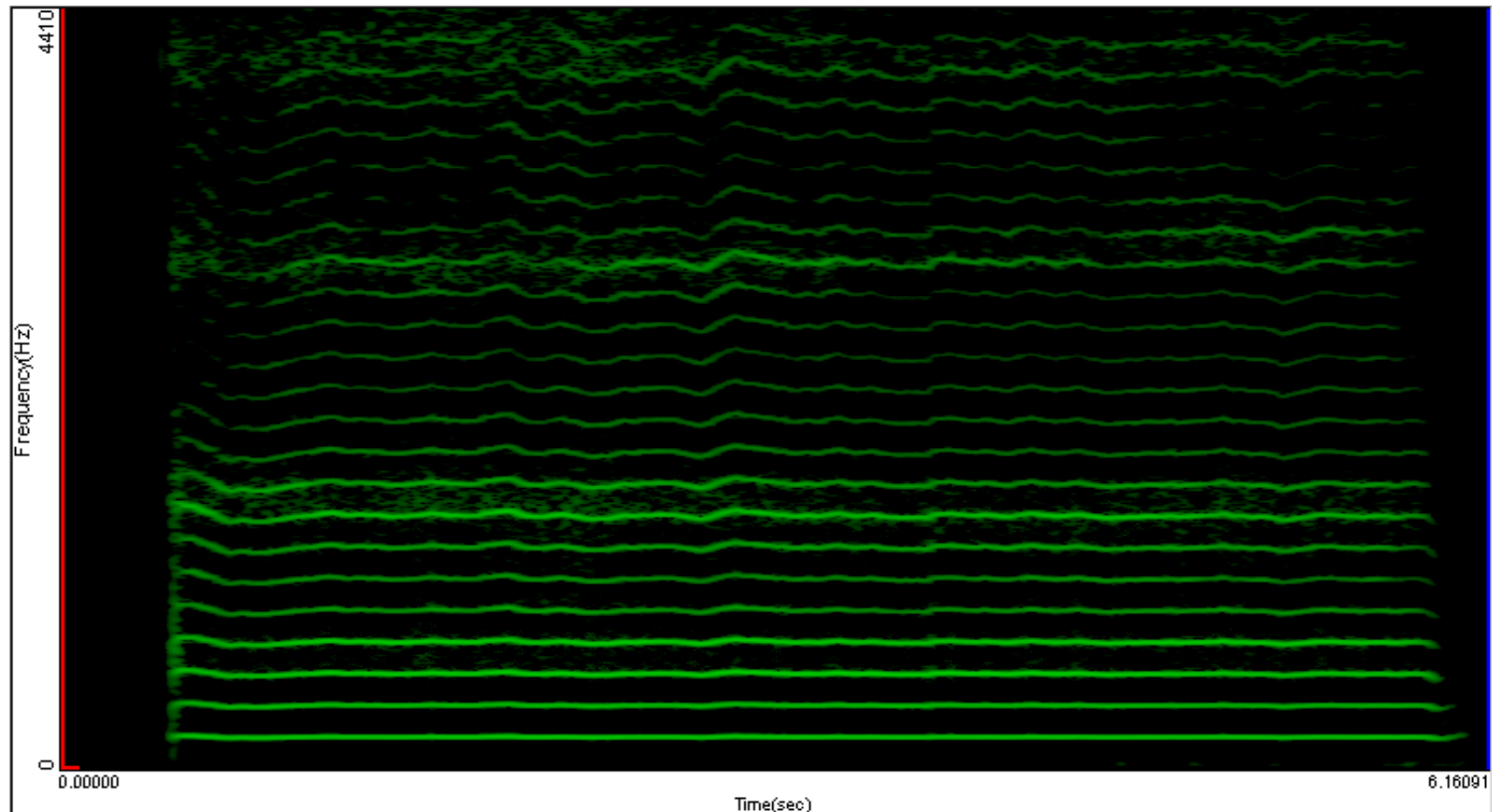
F0

Tempo

Primeiro harmônico é a F0

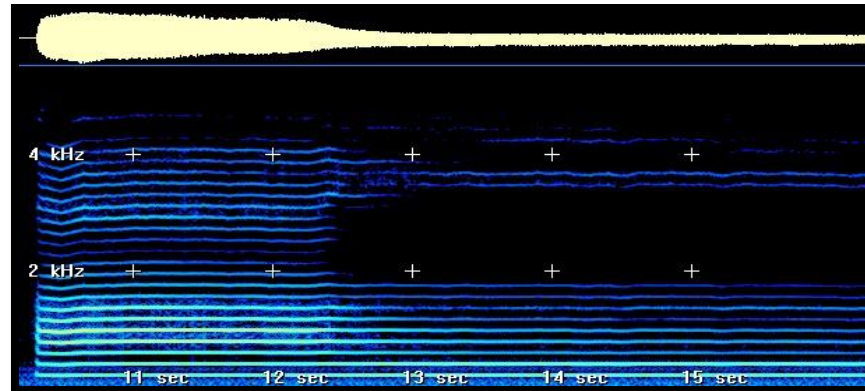
Espectrograma

No espectrograma de banda estreita abaixo podemos observar a frequência fundamental (1ª estria) e demais harmônicos (estrias acima).



ANÁLISE QUALITATIVA DO TRAÇADO

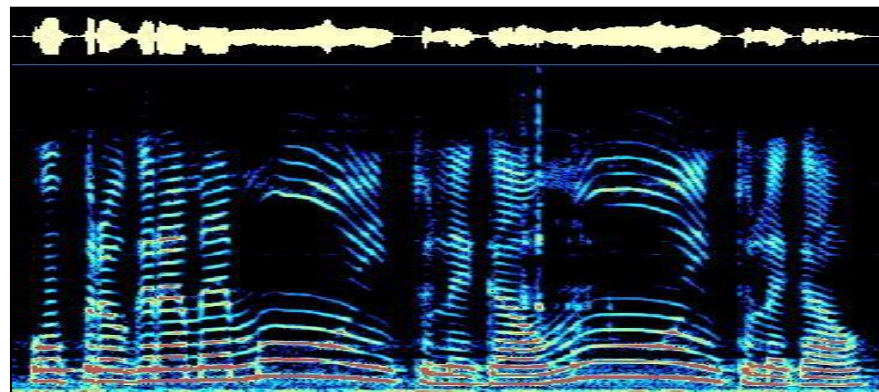
Ressonância
oral X nasal



/a/ oral

/ã/ nasal

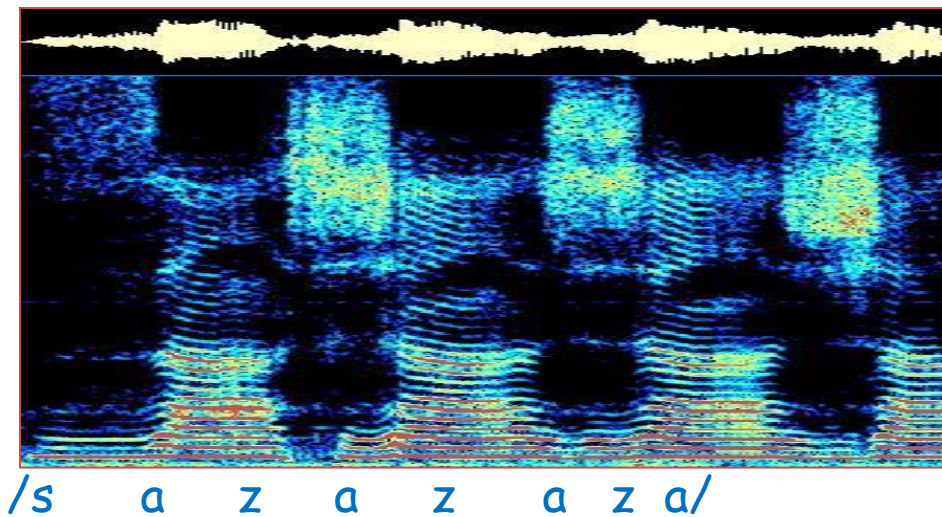
Fala encadeada
Modulação Frequência
e Intensidade



Só as vogais tem harmônicos

CONSOANTES

Som aperiódico - ruído

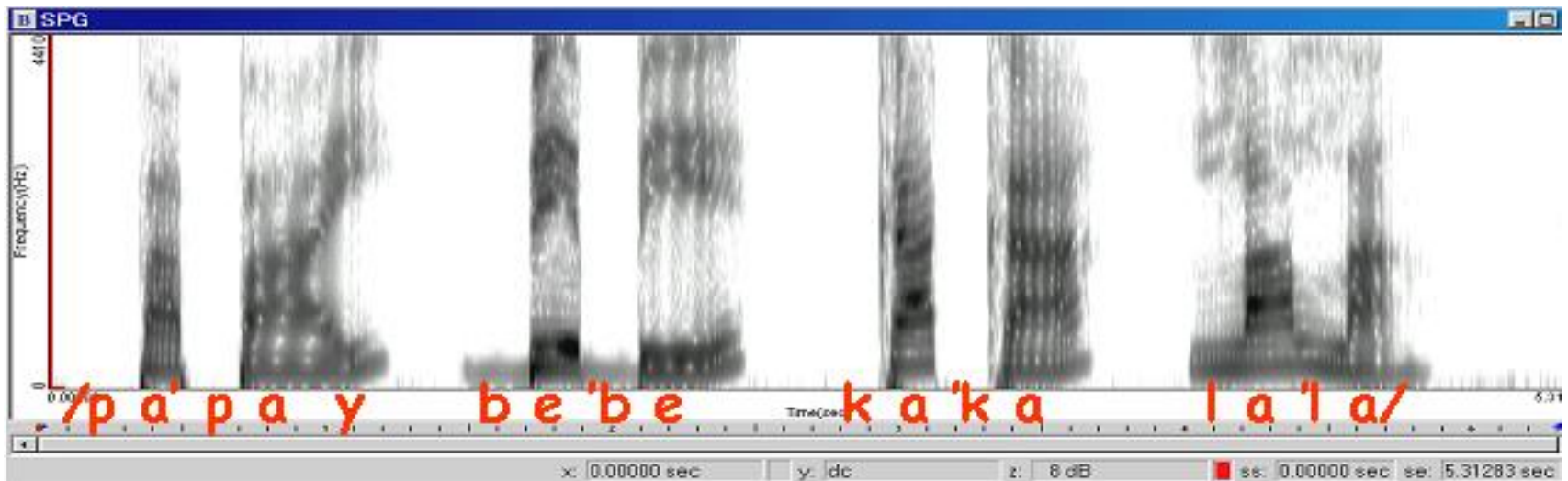


Não têm harmônicos
e formantes

As consoantes sonoras têm certo
padrão harmônico.

Identificação vogais e consoantes

A identificação de uma consoante é feita pelas zonas de incremento de energia



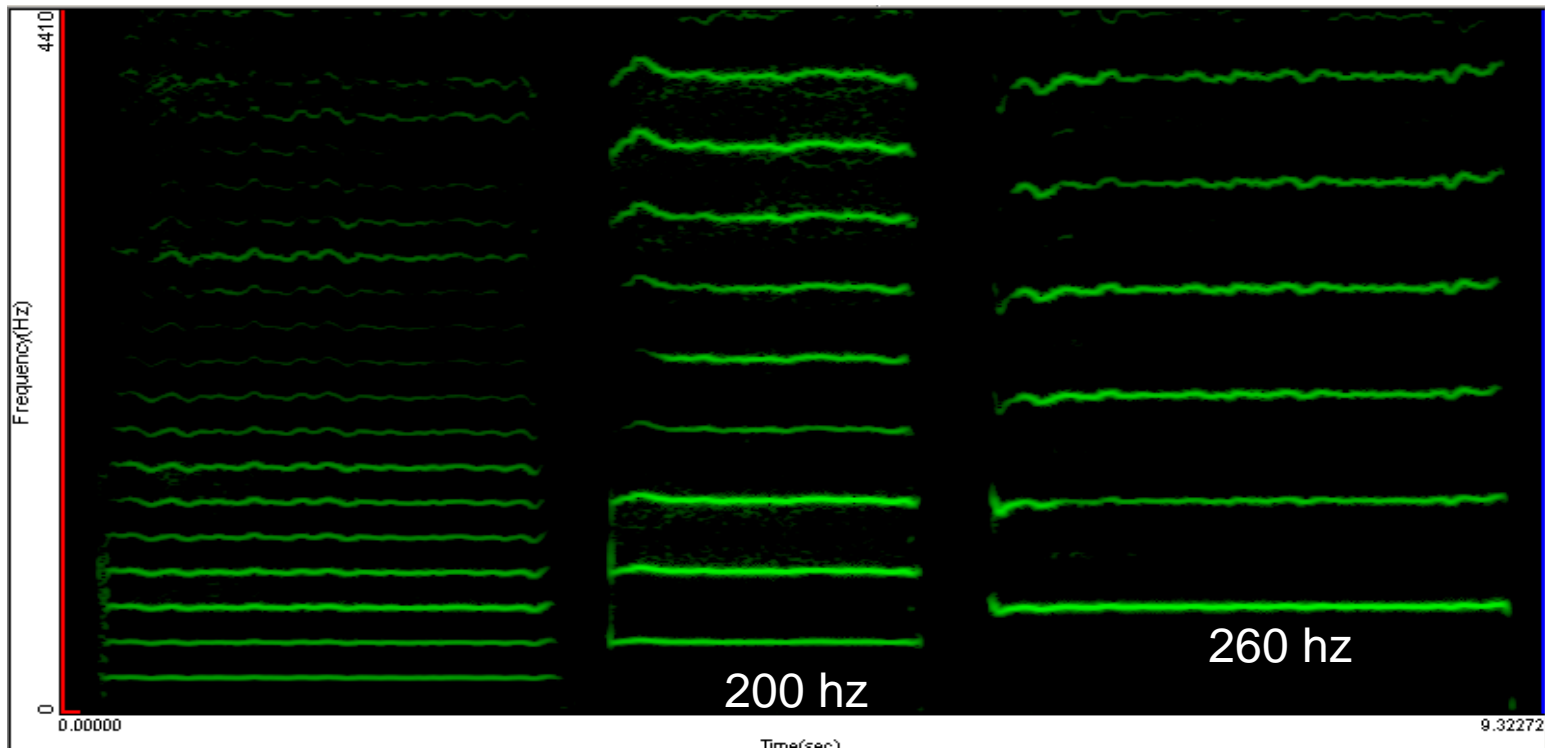
Acústica da voz: aplicação clínica

Espectrografia acústica

- A espectrografia acústica é realizada por meio da análise do espectrograma, um gráfico tridimensional que apresenta a frequência, medida em Hertz (Hz), na ordenada, o tempo, medido em segundos (s), na abscissa e intensidade, medida em decibel (dB), de acordo com a intensidade de coloração do traçado.
- Os filtros utilizados nos espectrogramas são o de banda ou faixa estreita, ideal para a visualização dos harmônicos do som, e o de banda ou faixa larga, que facilita a observação dos formantes.

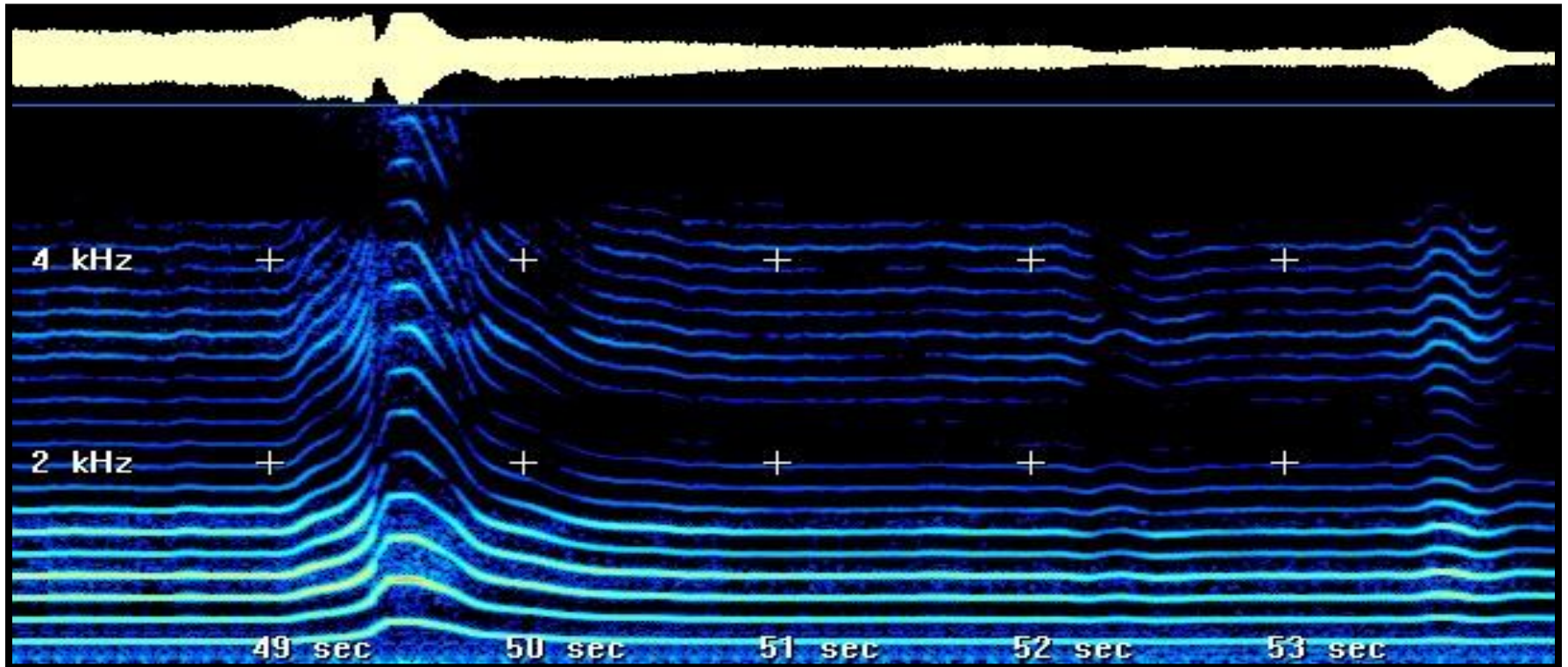
Análise da Frequência

- **Harmônicos** são frequências múltiplas da fundamental,
 - quanto **maior** for a frequência fundamental (voz **aguda**), **maior** será a distância entre eles
 - quanto **menor** for a frequência fundamental (voz **grave**), **menor** será a distância entre eles



Análise qualitativa do traçado

Frequência



Variação da frequência durante a emissão
Trecho com voz mais aguda

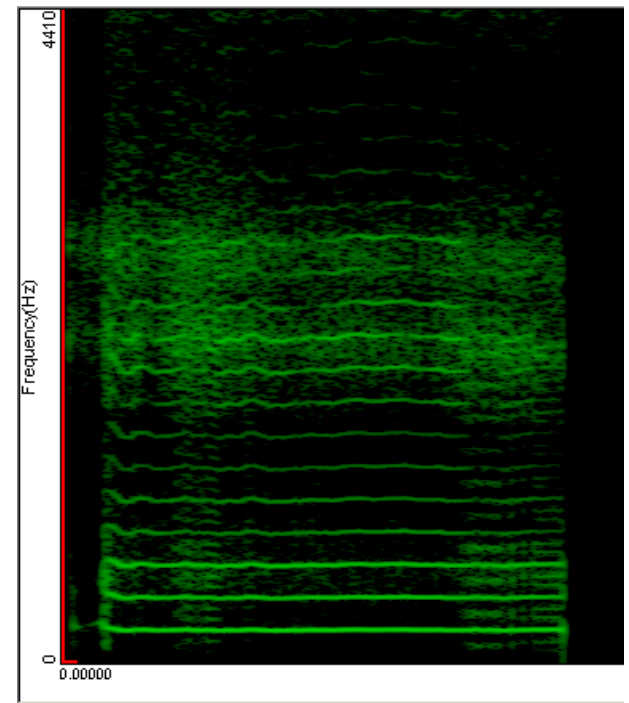
Espectrograma

Análise qualitativa do traçado

- Ataque vocal

Descrever em qual faixa de frequência (vertical) e o qual momento da emissão (horizontal)

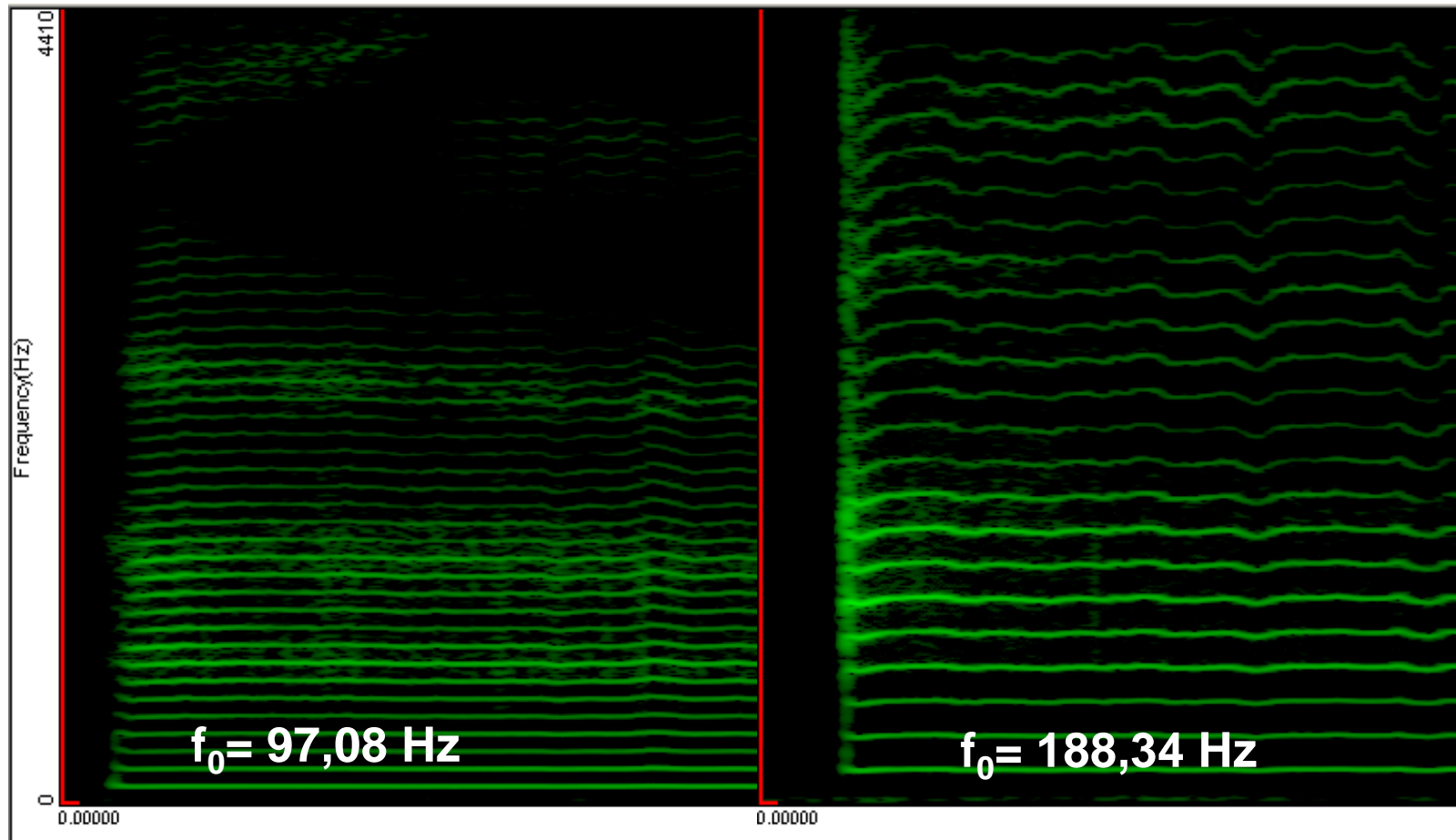
- Ruído (rouquidão, aspereza, soprosidade)
- Sub-harmônicos (voz crepitante ou bitonal)
- Harmônicos
- Instabilidade da frequência
- Instabilidade da intensidade
- Quebras de frequência
- Quebras de sonoridade



Análise Ataque Vocal

Voz /a/ - Homem 22 anos
Ataque vocal **isocrônico**

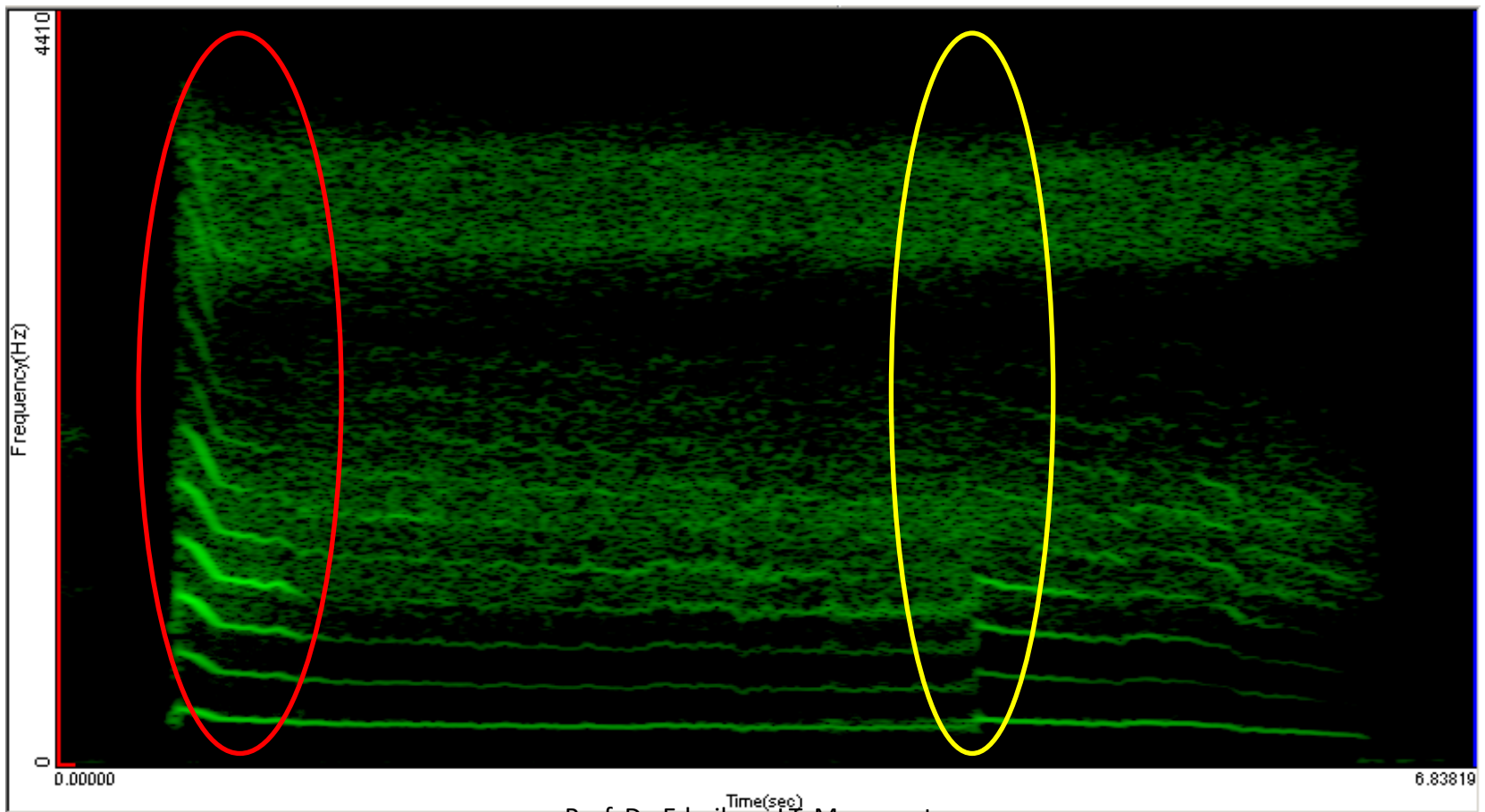
Voz /a/ - Mulher 22 anos
Ataque vocal **brusco**



Exemplo de instabilidade e quebra de frequência

Instabilidade da frequência no início da emissão (inicia mais agudo – depois estabiliza mais grave)

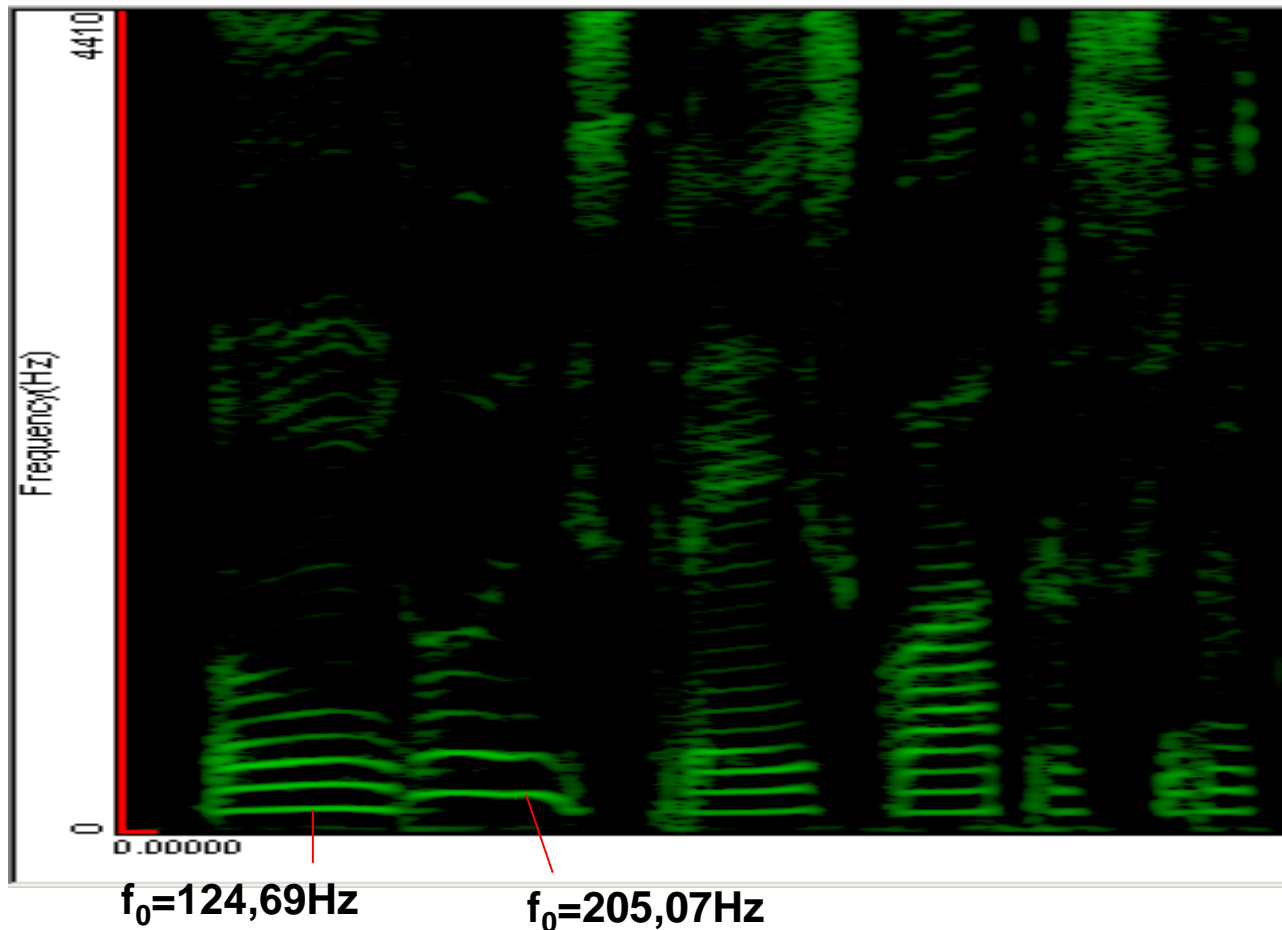
Quebra de frequência para o agudo, perto do fim da emissão



Exemplo de instabilidade de frequência

Contagem de 1 a 5 - homem de 25 anos.

Voz com quebra da frequência para o agudo na emissão do número “dois”

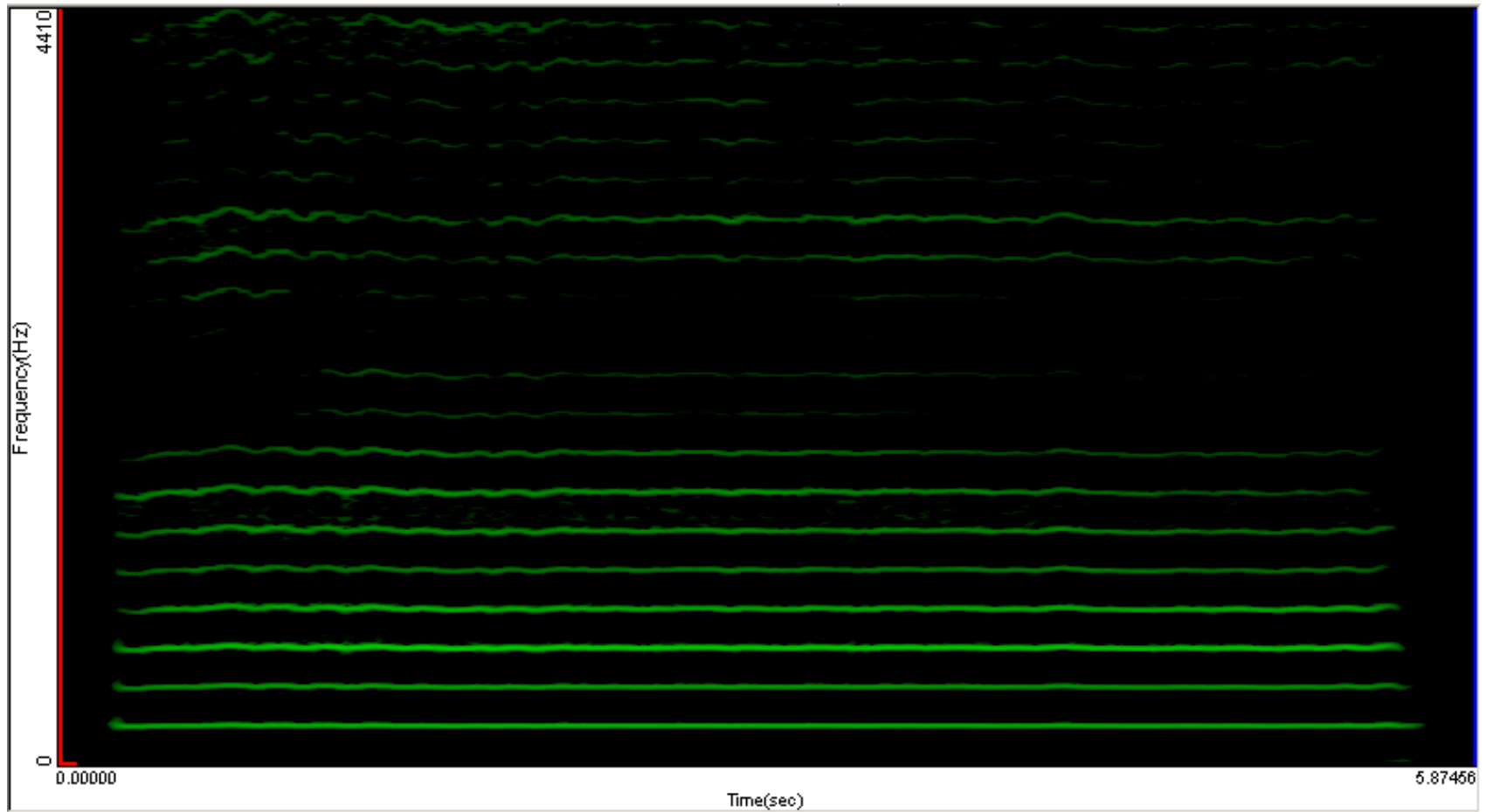


Observe o aumento no valor da frequência fundamental (aumento da distância entre os harmônicos)

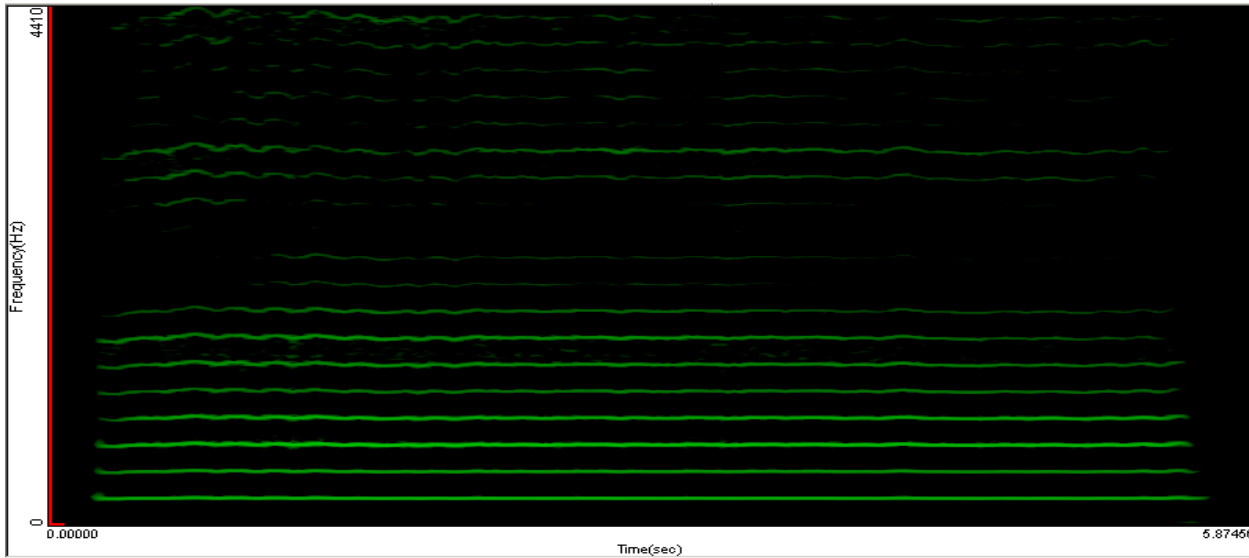
Análise qualitativa do traçado – Ruído

Harmônicos estáveis, sem presença de entre os harmônicos

Voz neutra saudável

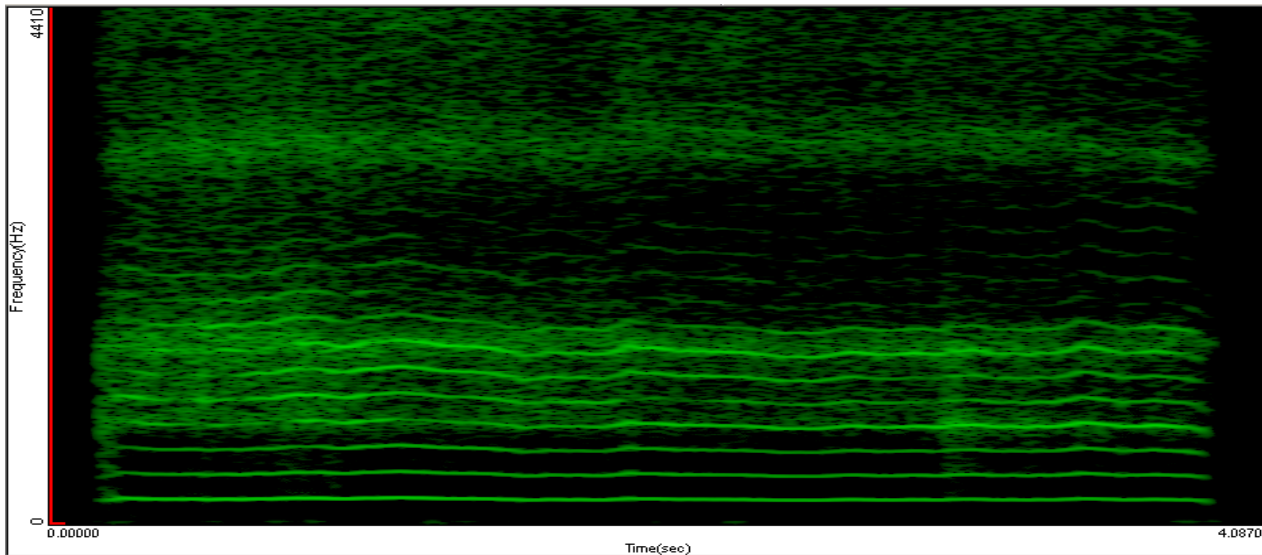


Análise do Ruído



Voz neutra

Ausência de ruído
entre os harmônicos

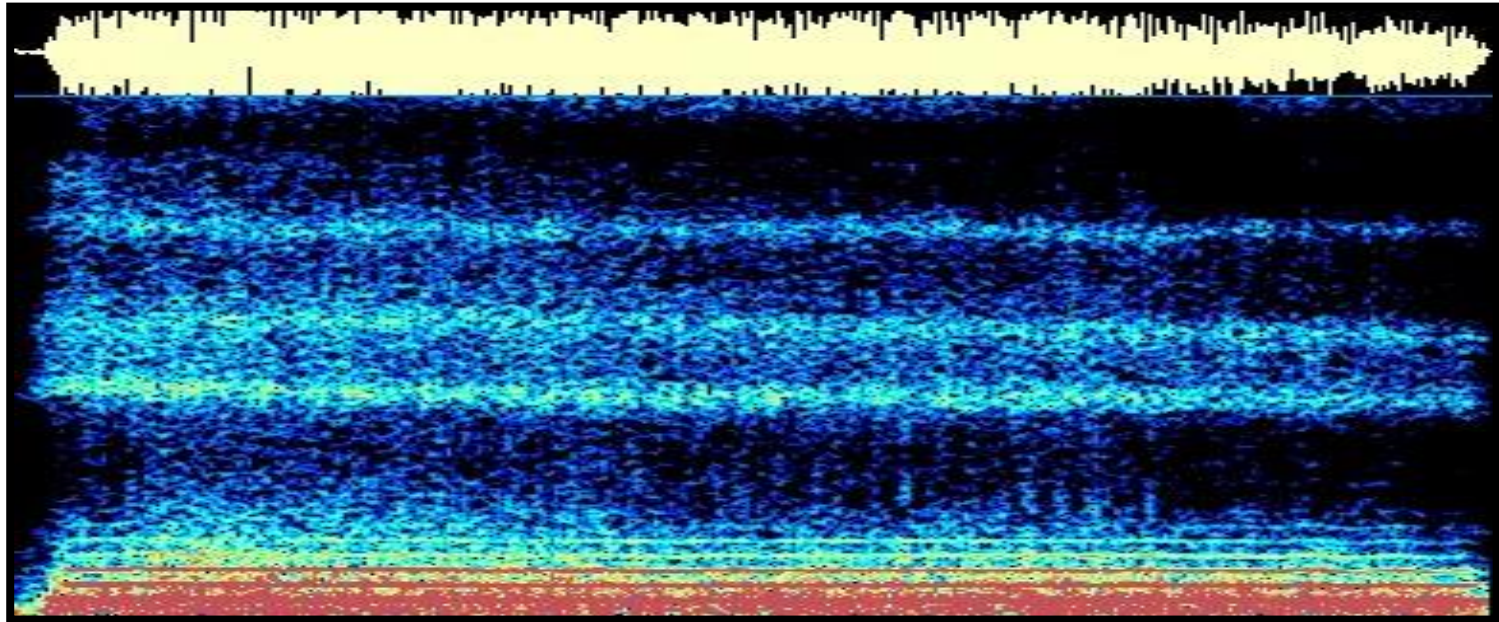


Voz rouca e sopro

Presença de ruído em
forte intensidade
entre os harmônicos
das frequências
médias e agudas
durante toda emissão

Análise do Ruído

Voz Disfônica / Rouca soprosa e tensa

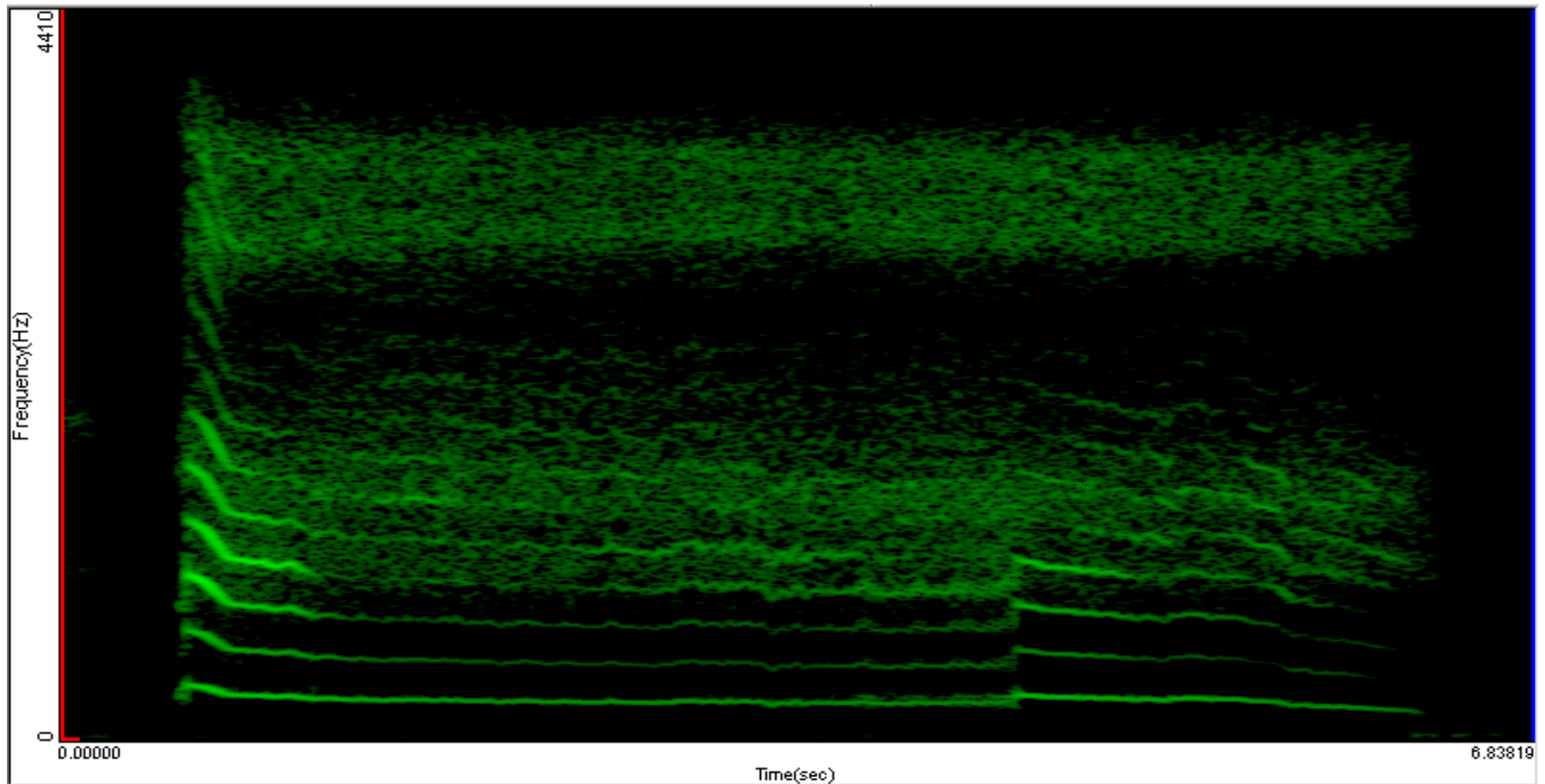


- Grande quantidade de ruído entre os harmônicos em todas as faixas de frequência (graves, médias e agudas)
- Forte intensidade nos primeiros harmônicos
- Poucos harmônicos visíveis

Análise de RUÍDO

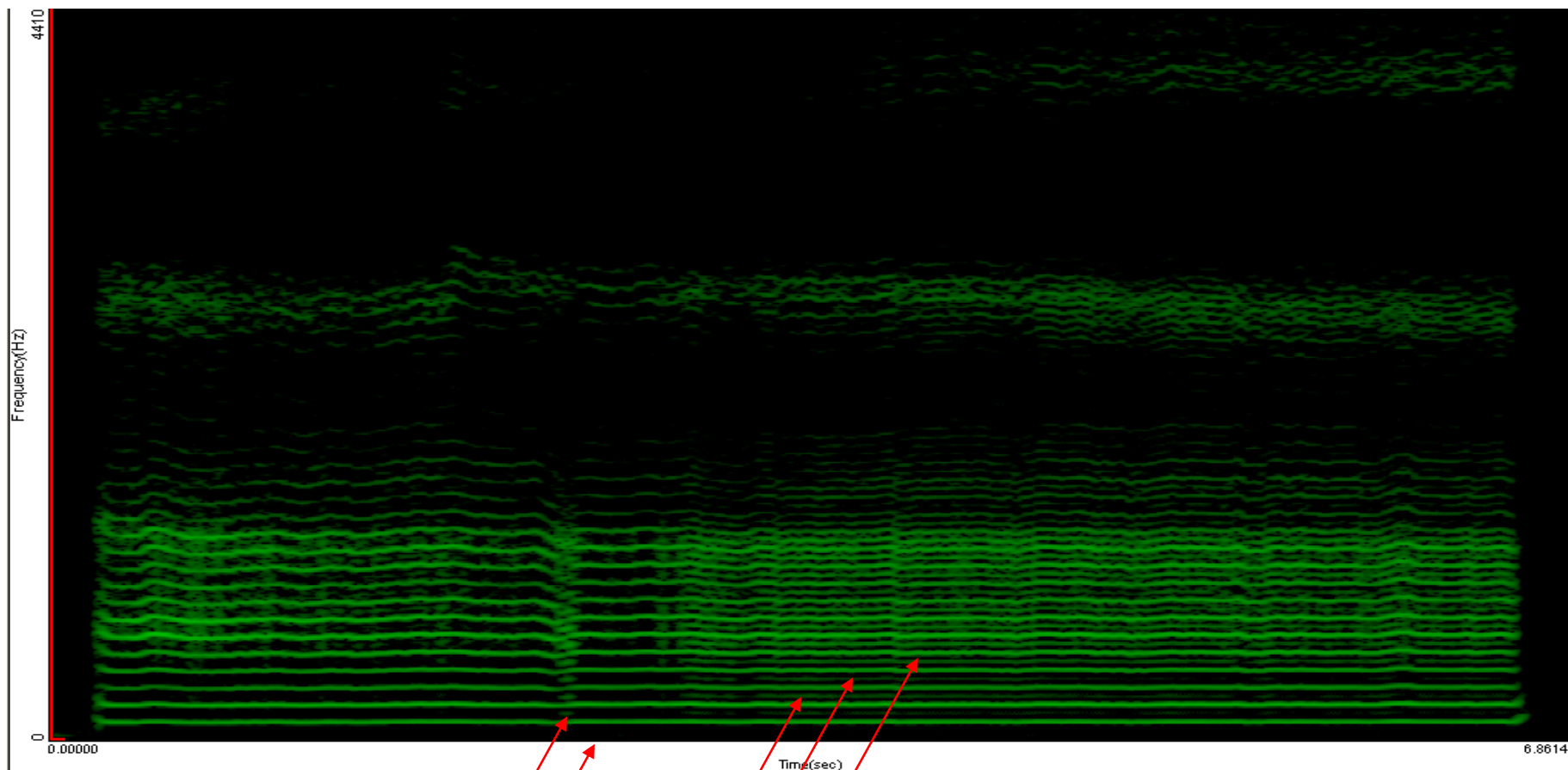
Grande **quantidade de ruído** entre os harmônicos das frequências médias e agudas, durante toda a emissão

Voz Rouca soprosa



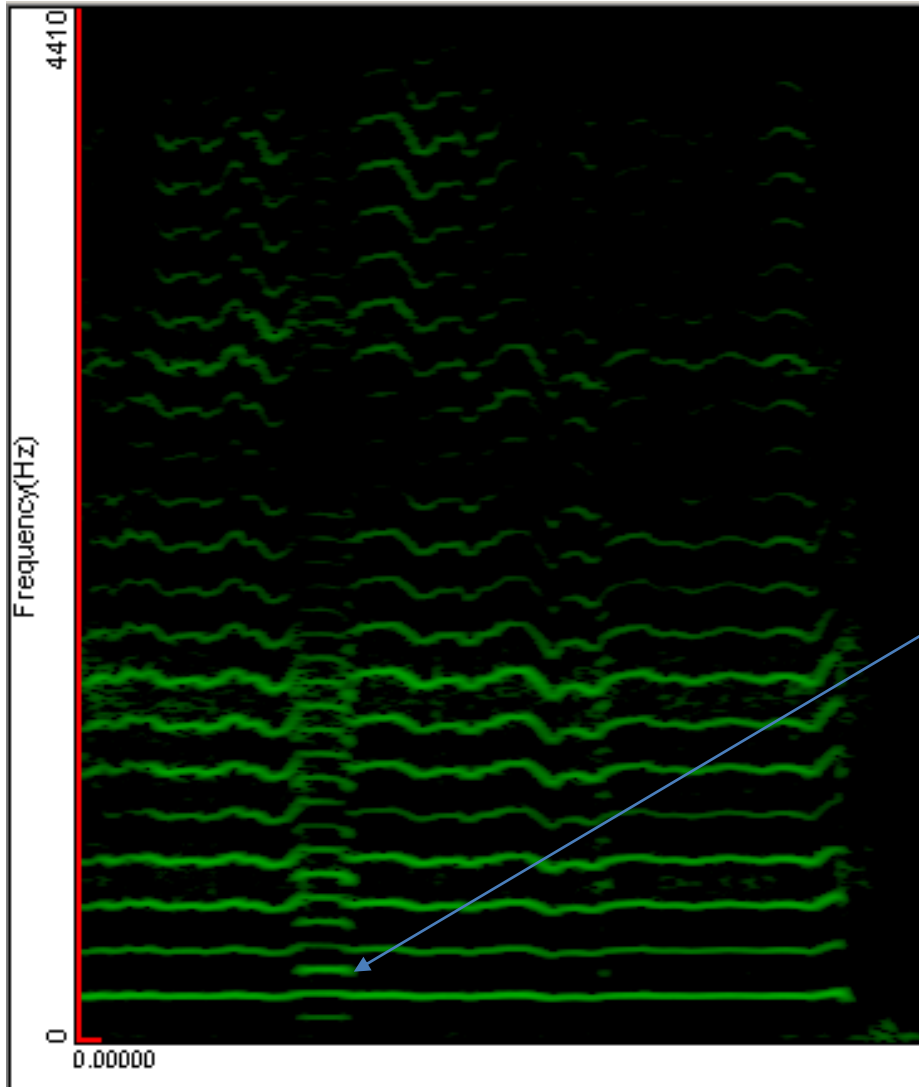
Exemplos de Sub-harmônico

Voz com Crepitação



Frequência (sub-harmônico) entre os harmônicos

Exemplos de Sub-harmônico

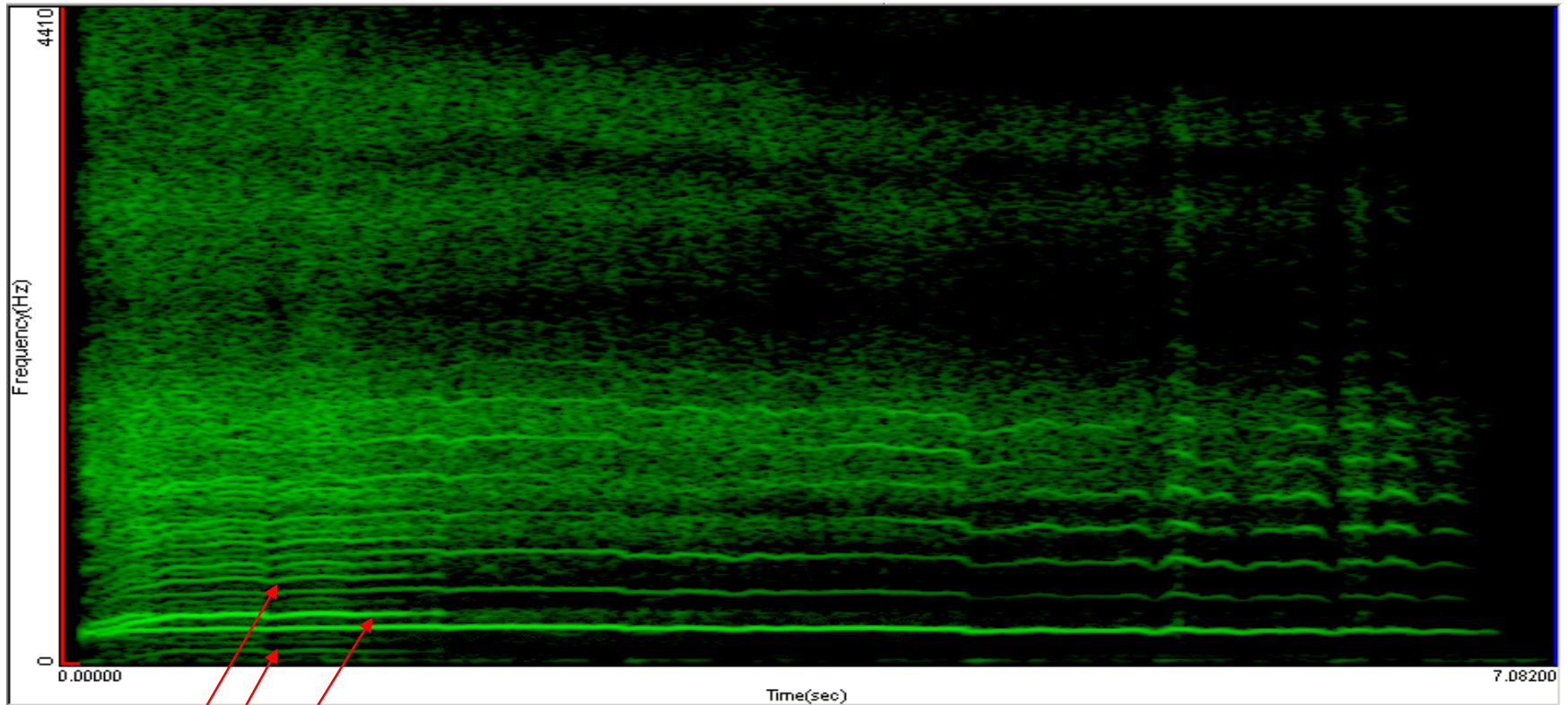


Exemplo de Sub-harmônicos

Observe no espectrograma o trecho onde há presença de sub-harmônicos.

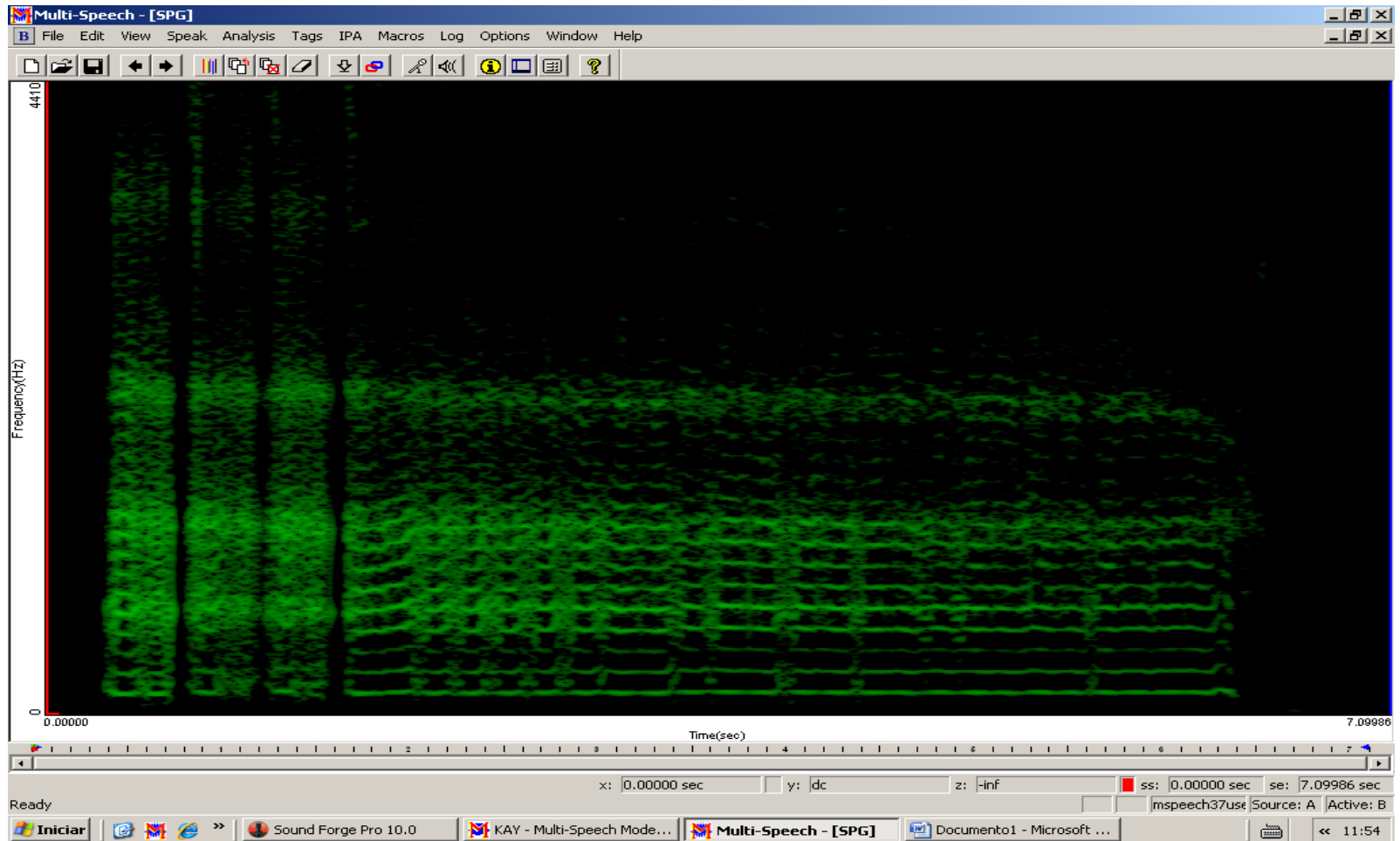
Exemplo de Sub-harmônico

Voz Bitonal

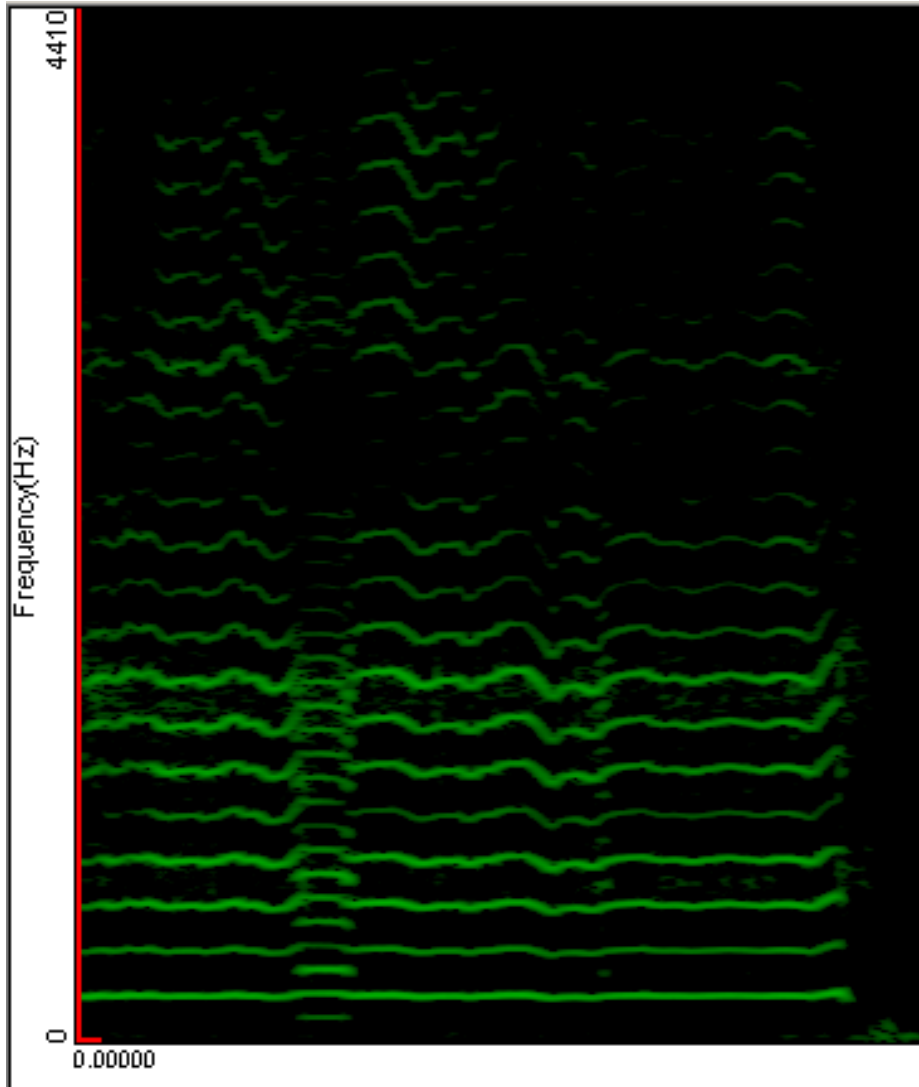


Frequências (sub-harmônico) entre os harmônicos

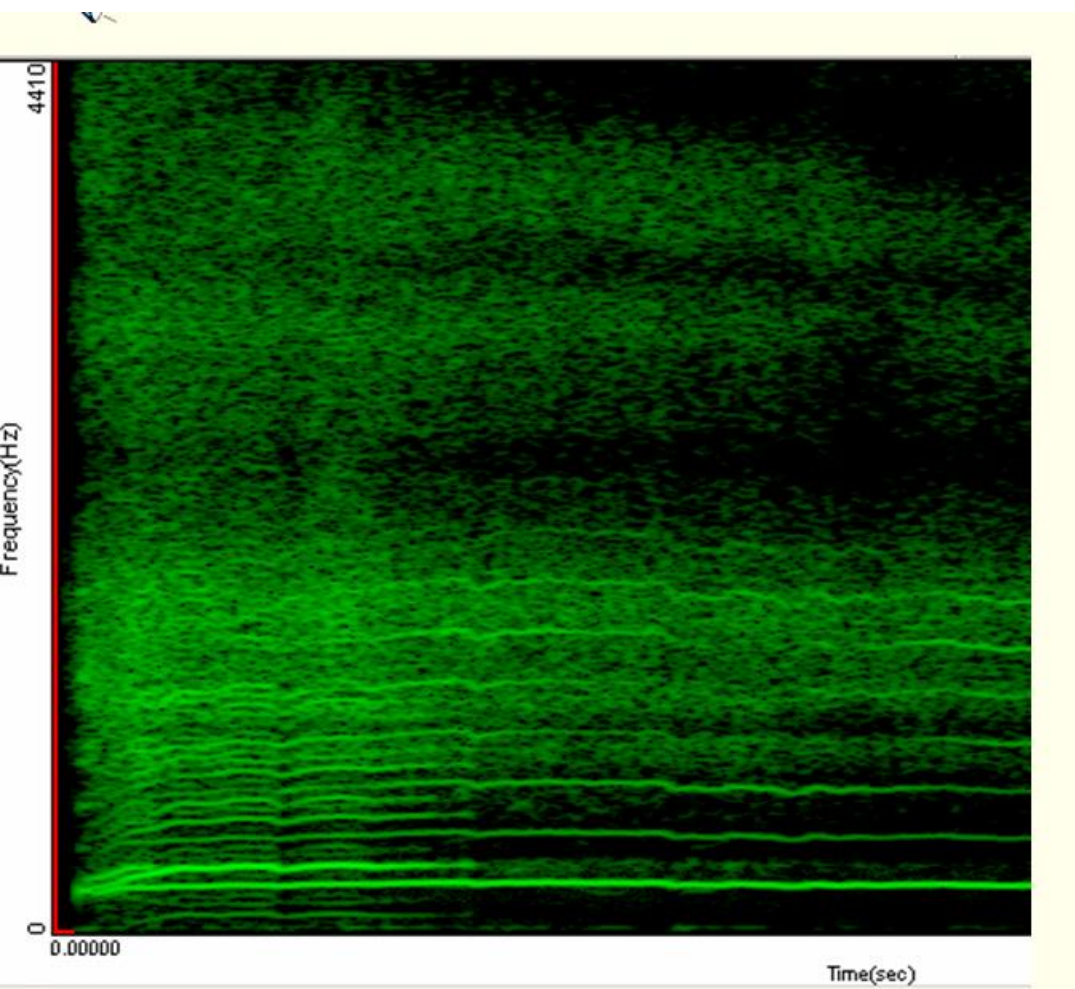
Análise qualitativa do traçado Quebra de Sonoridade



Exemplo de Sub-harmônicos



Observe no espectrograma o trecho onde há presença de sub-harmônicos e também a presença de instabilidade no traçado dos harmônicos.

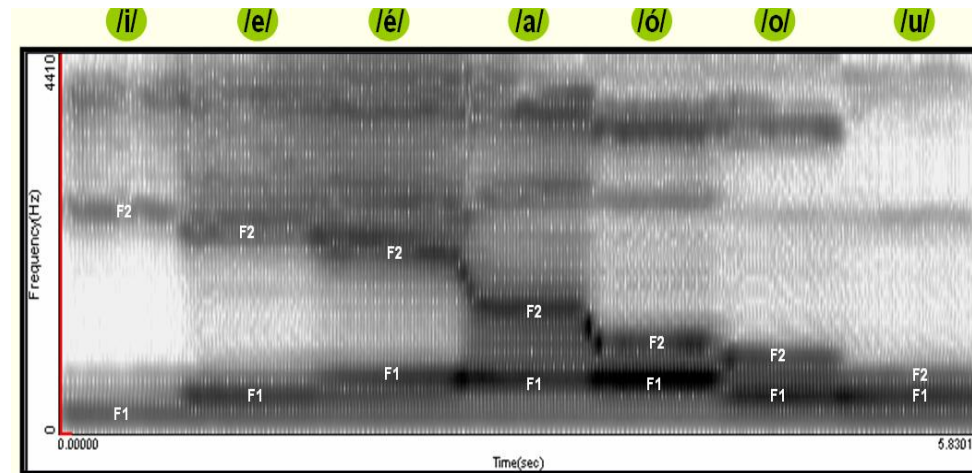
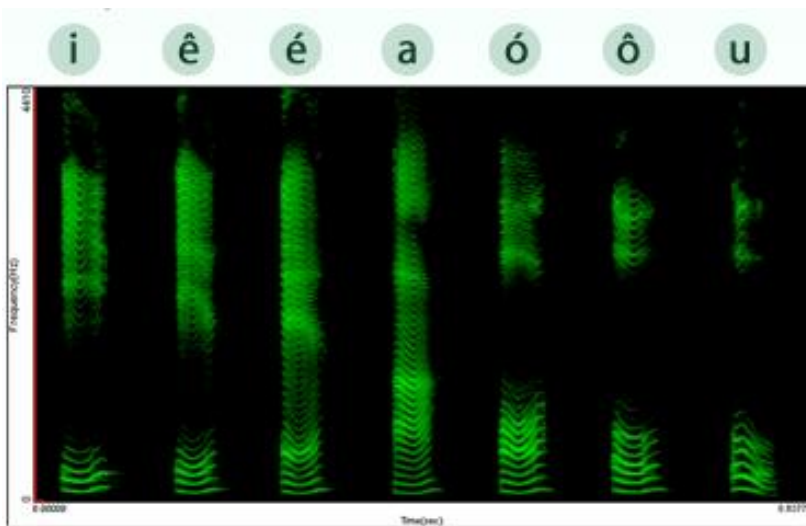


Nesse espectrograma observa-se mais de uma frequência sub-harmônica, presença excessiva de ruído, principalmente no início da emissão, e uma pequena instabilidade do traçado.

O espectrograma refere-se à voz de uma mulher idosa com paralisia unilateral de pregas vocais.

Formantes

- Ao passarem pelo trato vocal, os harmônicos podem ser amplificados ou amortecidos, de acordo com as características de ressonância do trato vocal em uma determinada posição articulatória.
- Assim, cada grupo de harmônicos amplificados é chamado de **formante**.
- No espectrograma podemos observar a posição dos formantes para cada uma das vogais.



Formantes

F1: deslocamento **vertical** da língua

F2: deslocamento **horizontal** da língua

/i/

/e/

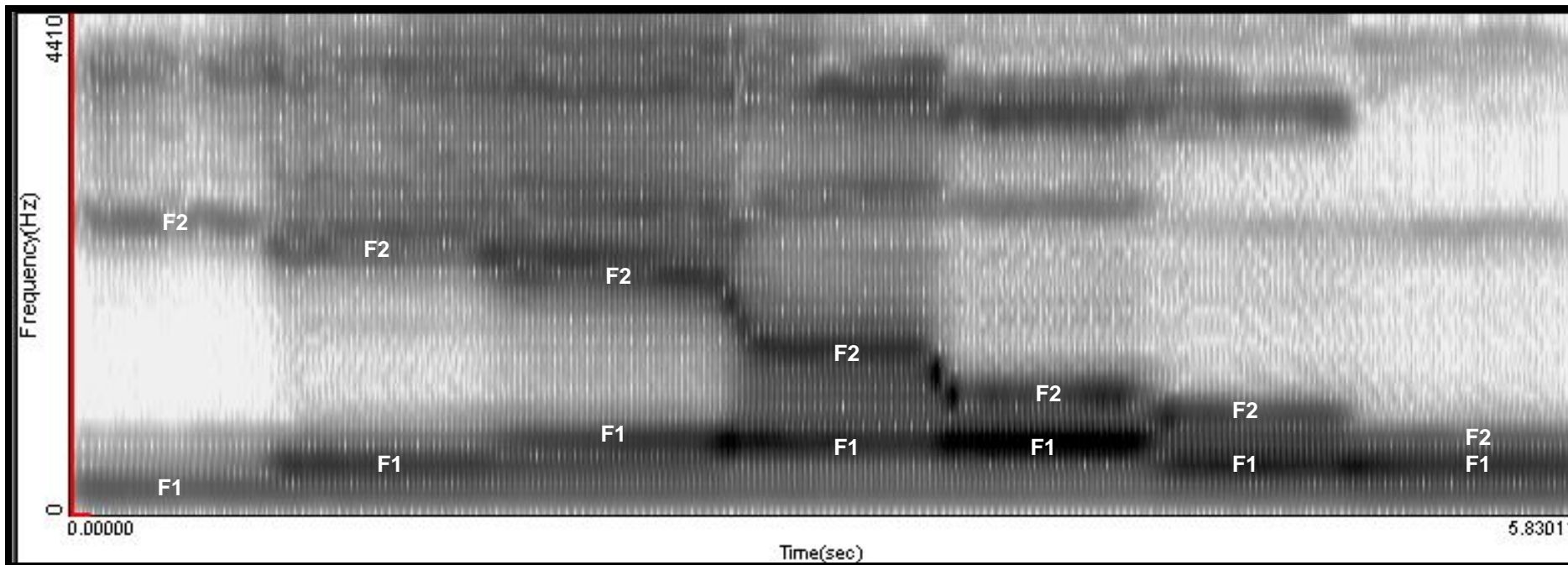
/ɛ/

/a/

/ɔ/

/o/

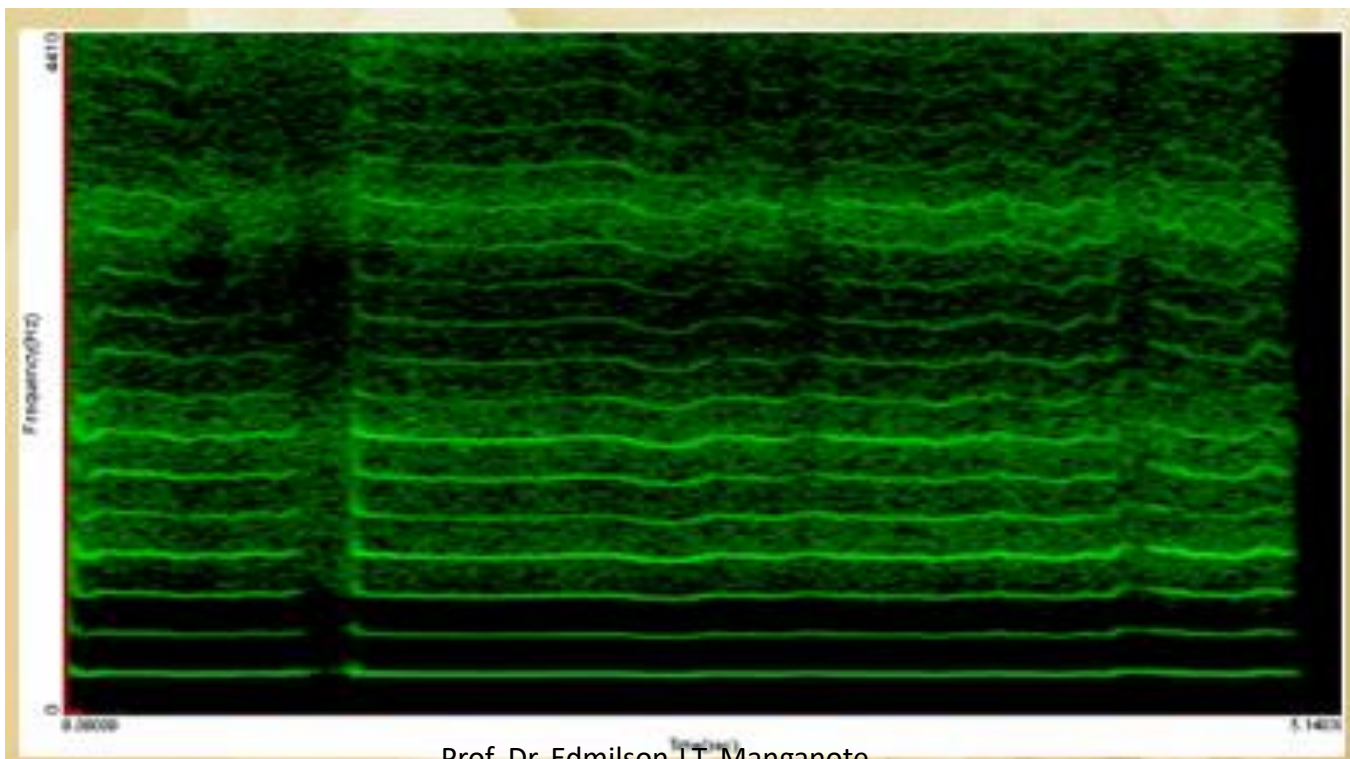
/u/



Análise espectrograma

Menino 10 anos – cisto de prega vocal – $F_0 = 255\text{Hz}$

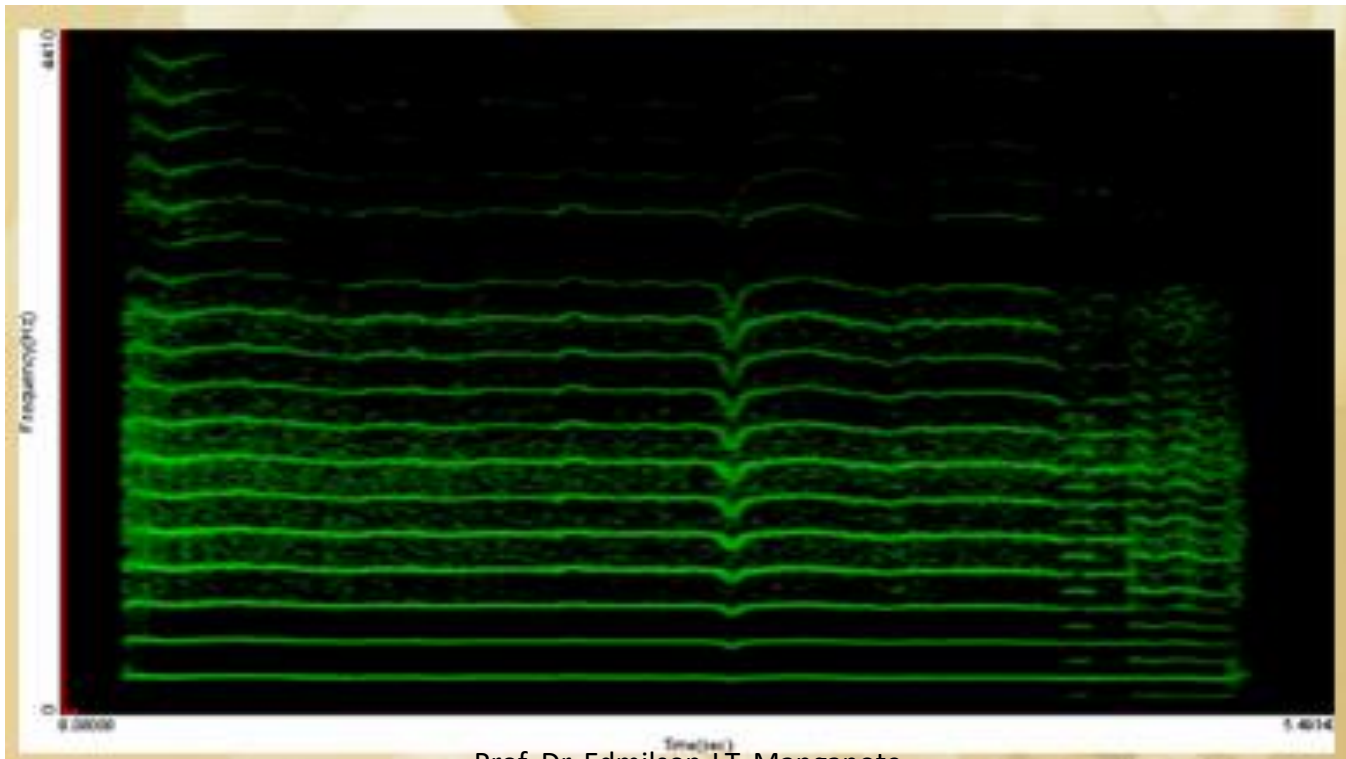
- Ataque vocal isocrônico
- Harmônicos visíveis até nas frequências mais agudas
- Presença acentuada de ruído entre os harmônicos das frequências médias e agudas, (corresponde a voz rouco-soprosa grau moderado).
- Nos primeiros segundos da emissão observa-se quebra de sonoridade
- Nos segundos finais trecho com variação ascendente da frequência e redução da energia



Análise espectrograma

Menina adolescente 15 anos – cisto de prega vocal – $F_0 = 232$ Hz

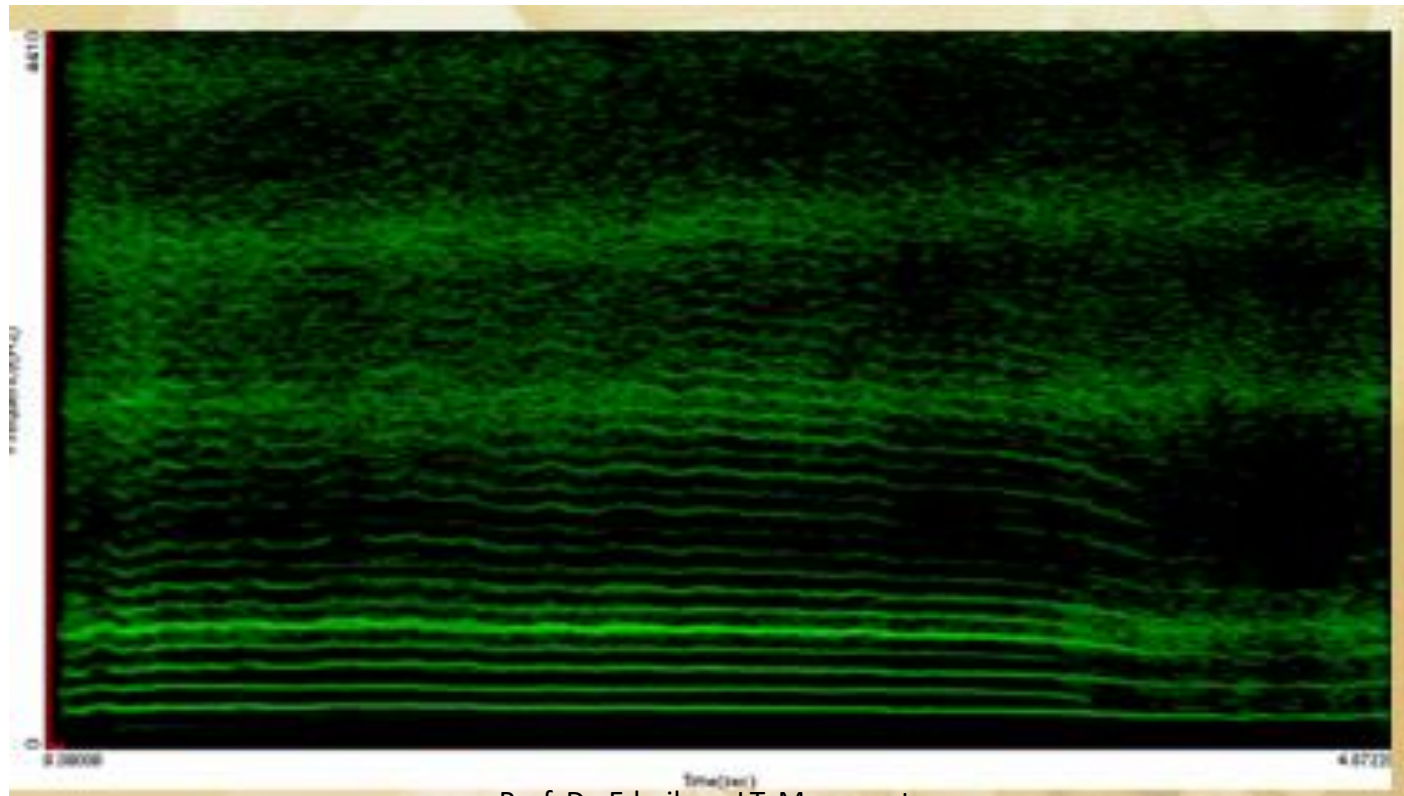
- Ataque vocal isocrômico
- Aumento da intensidade dos traçados (harmônicos) nos segundos iniciais da emissão
- Diminuição da intensidade nos segundos finais da emissão
- Harmônicos visíveis até parte das frequências mais agudas
- Presença leve de ruído entre os harmônicos das frequências médias e agudas (corresponde a voz rouca-soprosa leve)
- Instabilidade da frequência, após o trecho médio da emissão
- Presença de subharmônico nos trechos finais da emissão (corresponde a crepitação vocal)



Análise espectrograma

Mulher 24 anos – Pólipo prega vocal – constrição mediana severa – F0 = 247 hz

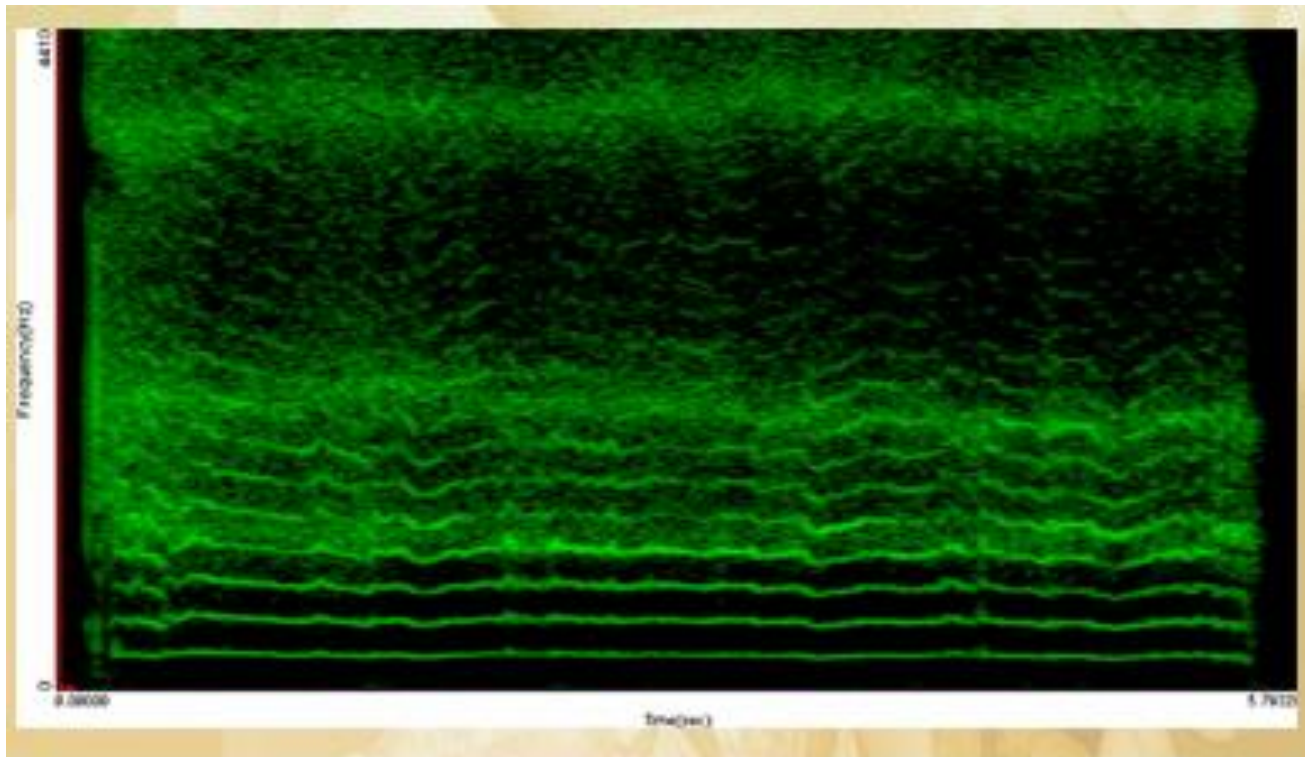
- Ataque vocal isocrônico
- Presença de ruído nas frequências médias e altas em toda a emissão
- Harmônicos bem visíveis apenas nas frequências graves e médias
- Presença de sub-harmônico em quase toda emissão (corresponde a crepitação da voz)
- Redução da intensidade e da frequência após o trecho medial
- Ausência do sub-harmônico e aumento do ruído no trecho final da emissão



Análise espectrograma

Menina 6 anos – Membrana laríngea congênita $F_0 = 323$ Hz

- Ataque vocal aspirado com tensão inicial, ruído e posterior presença de harmônicos
- Harmônicos visualizáveis nas frequências graves e médias, pouco visíveis nas graves
- Presença de ruído intenso entre os harmônicos nas frequências médias e agudas durante toda a emissão (corresponde a voz rouco-soprosa e tensa)
- Instabilidade da frequência em toda a emissão
- Quebra de frequência nos segundos iniciais da emissão



Análise espectrograma

Mulher 48 anos – paralisia de prega vocal esquerda $F_0 = 237$ Hz

- Tempo de emissão reduzido
- Ataque vocal aspirado
- Instabilidade da frequência no início da emissão
- Harmônicos visíveis apenas na faixa de frequências graves e médias, na faixa média e alta há predomínio de ruído intenso (corresponde a voz soprosa, áspera, tensa)
- Presença de sub-harmônico ao longo de toda a emissão (corresponde a voz bitonal)
- Redução da frequência ao longo do tempo

