

Análise Sonora

Prof. Regis Rossi A. Faria



Introdução

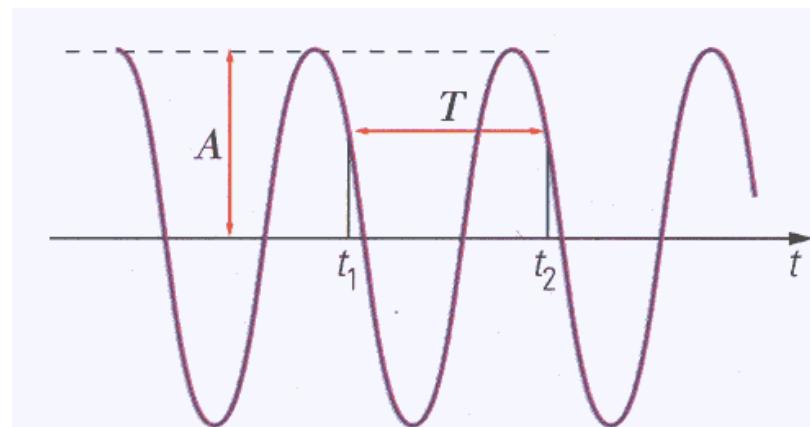
- Nesta aula abordaremos uma introdução ao tema da análise sonora e musical
- A análise sonora se ocupa em extrair informações de ordem acústica e musical dos sinais, como nível de intensidade (NIS em dB) e composição espectral (espectro, estrutura harmônica, intensidades relativas de cada parcial/harmônico, etc.)
- As ferramentas mais comuns para isso são os espectrogramas e sonogramas (*amplitude x frequência x tempo*), espectros simples de trechos de som (*amplitude x frequência*), e analisadores de forma de onda (*amplitude x tempo*), que permitem localizar e segmentar trechos de ataques, trechos de sustentação, medir durações etc.
- Há diversas técnicas e algoritmos para extrair estas informações do sinal de áudio, cujos detalhes estão além do escopo deste curso

Conteúdo deste módulo

- Características do sinal sonoro no tempo e na frequência
 - Parâmetros básicos (revisão)
 - Tipologia sonora (tipos de sons)
- Caracterização temporal e espectral
 - Envelopes ou envoltórias
 - Sonograma / espectrograma
 - Análise em multiresolução e outras técnicas
- Aspectos gerais relativos à análise sonora e musical
 - Exemplos de análise sonora e musical e de extração de informações musicais como *pitch* e notas

Parâmetros básicos (revisão)

- Período (T): intervalo de tempo de um ciclo
 - Ex: $T = 10 \text{ ms}$
 - O período é o tempo necessário para que um ciclo da onda se repita num determinado ponto do espaço
- Frequência: inverso do período,
 $f = 1/T$
 - Ex: $f = 1/0,01 = 100 \text{ Hz}$



Relações entre parâmetros

- Senóide generalizada

- A onda sonora varia no tempo (t) e no espaço (x)

$$S(t, x) = A \sin(\omega t \pm kx + j) + B$$

- A variação no tempo é medida em termos de quantos ciclos (2π rad) ocorrem por segundo, de onde definimos a velocidade angular $\omega = 2\pi$ rad/T s = $2\pi f$ ciclos/s

$$\square = 2\pi / T = 2pf$$

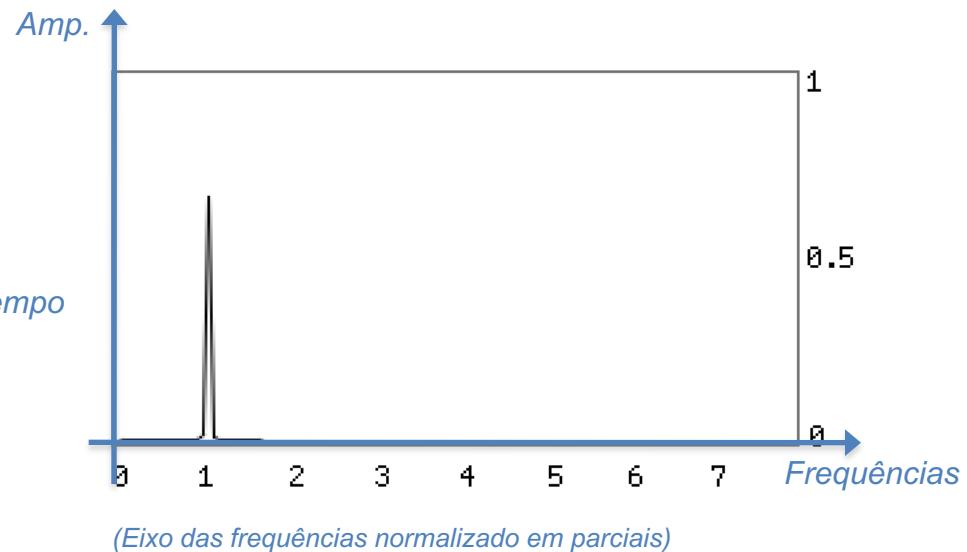
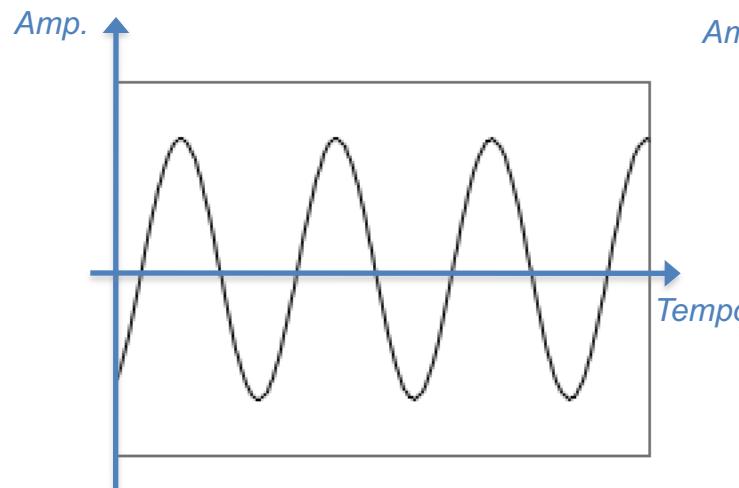
- Portanto o conceito de frequência (f) ou de velocidade angular (ω) está associado à periodicidade em 2π

- A variação no espaço é medida em termos de quantos ciclos ocorrem por metro, de onde definimos o índice $k = 2\pi$ rad/ λ m (conhecido em acústica como “número de onda”)

$$k = 2\pi / \lambda = \frac{2\pi}{c} \quad f = \frac{\omega}{c}$$

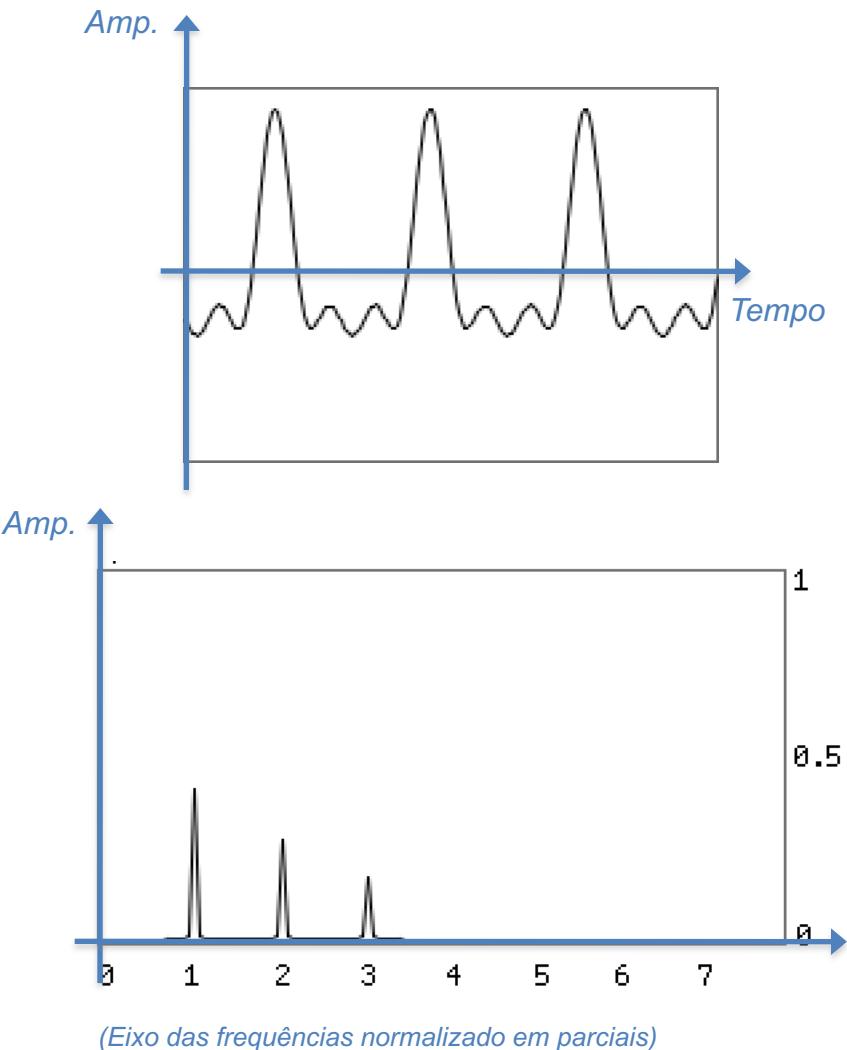
Caracterização do som

- Tecnicamente, o som é uma *onda acústica audível*
- Tipos de sons
 - Sons (tons) puros
 - Senóides: formas de onda elementares que apresentam uma só frequência



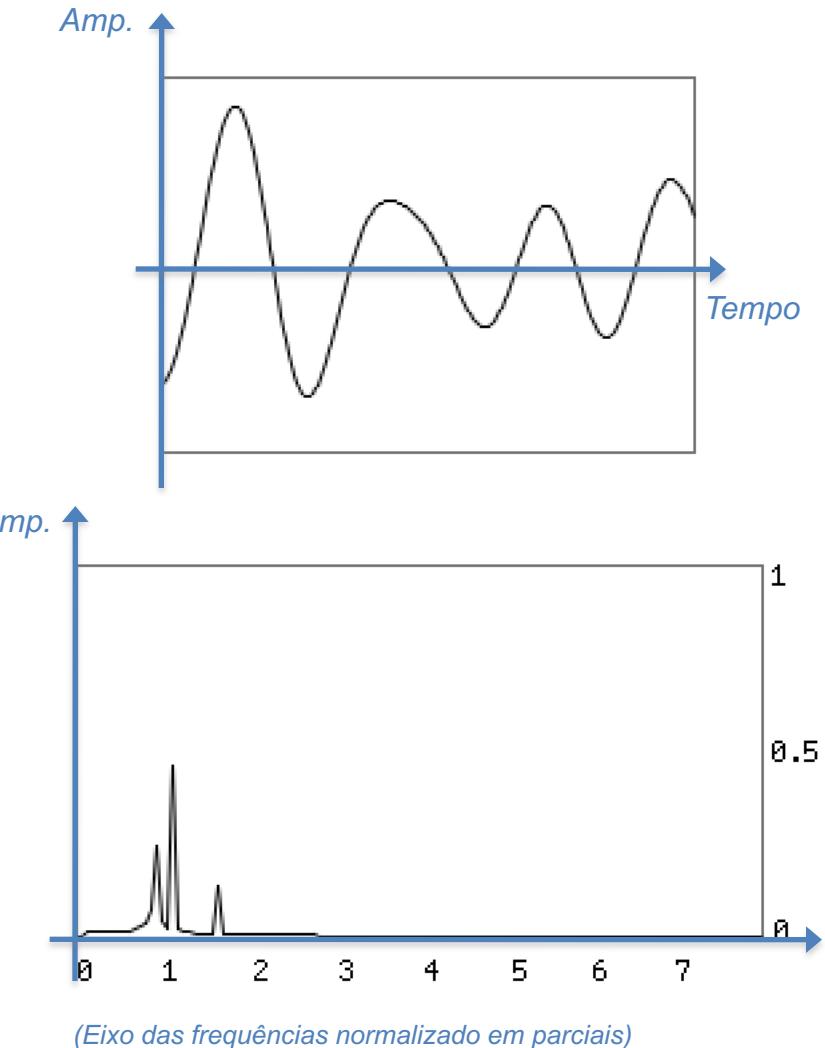
Caracterização do som

- Sons compostos ou complexos
 - Criados pela combinação de sons puros
 - Guardam um arranjo ou regra de construção definida, como *uma série harmônica*: uma combinação de tons cujas frequências são múltiplas inteiras de uma frequência denominada fundamental
 - Ex: f_1 ; $f_2 = 2 f_1$; $f_3 = 3 f_1$, ...



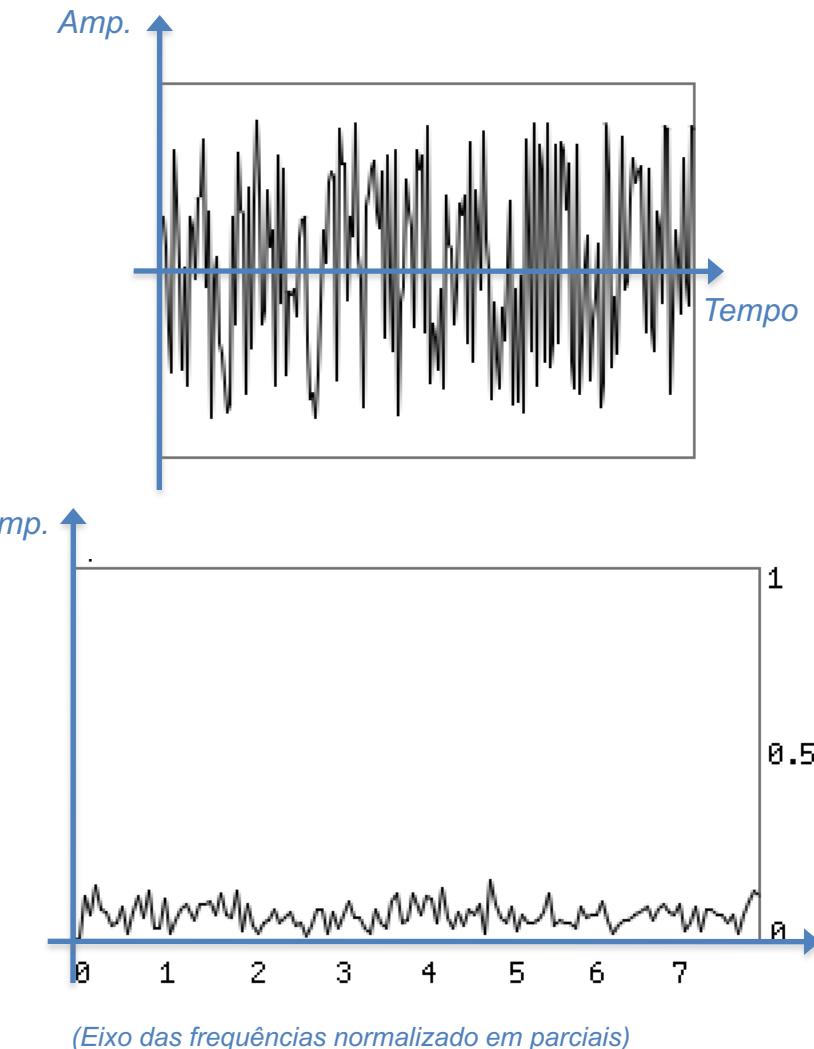
Caracterização do som

- Sons compostos ou complexos
 - Os arranjos também podem ser *inarmônicos*, isto é, que guardam relações fracionárias de multiplicidade entre os parciais
 - Ex: $f_2 = 0.8 f_1$, $f_3 = 1.5 f_1$, ...
 - Note que a inharmonicidade adiciona *aperiodicidade* ao sinal



Caracterização do som

- Ruído
 - Sons complexos, não periódicos, sem fundamental definida, aleatórios e imprevisíveis
 - Costumam apresentar parciais (componentes) que saturam uma determinada faixa do espectro (ex: ruído rosa)



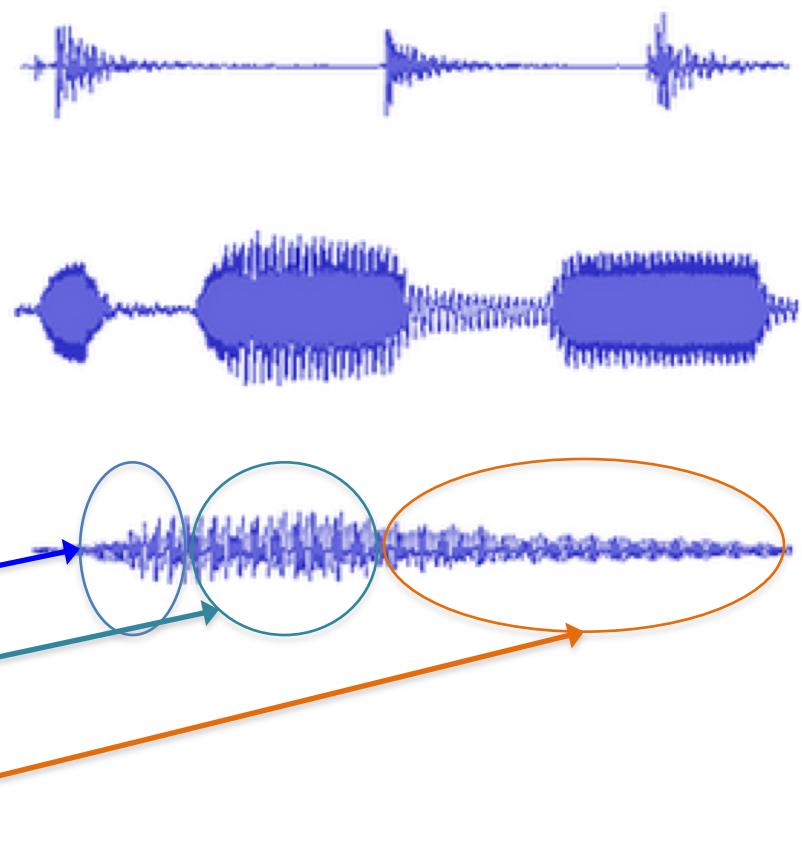
Caracterização temporal

- Os sons na prática possuem uma *demarcação temporal*, isto é, tem momento de início, uma duração, e um momento de final, constituindo assim uma *nota musical*
- Denominamos *envelope ou envoltória* a forma de onda que demarca o início (ataque), a sustentação (duração) e o final (liberação) de uma nota musical

Envelopes ou Envoltórias

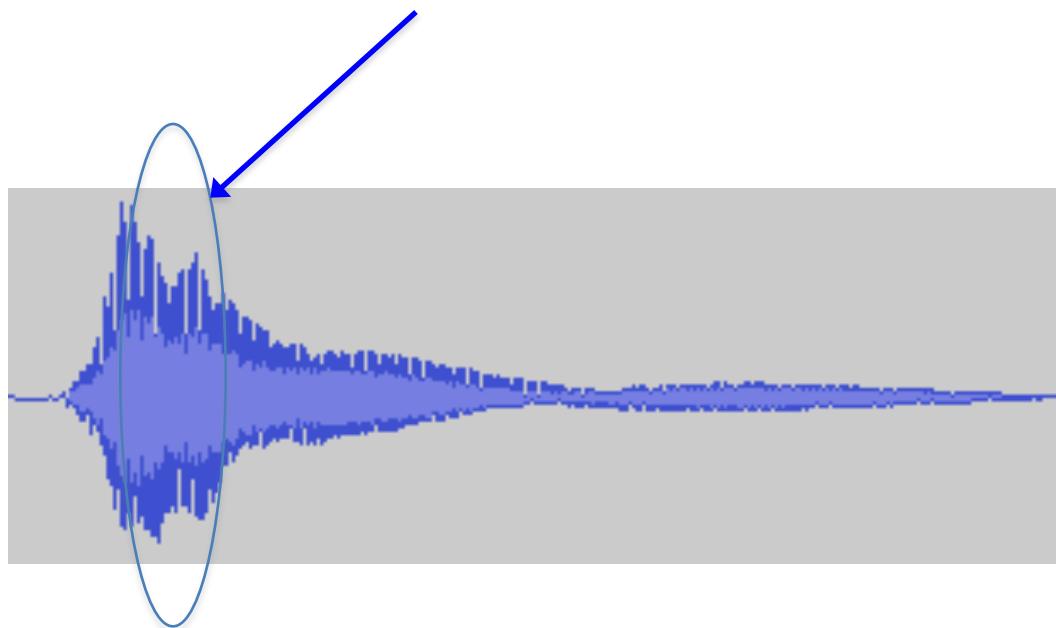
- De fato, como podemos apreender das formas de onda ao lado, notas musicais de instrumentos acústicos possuem características de amplitude e espectro distintas nos estágios de

Ataque,
Sustentação
e Liberação (*Release*)



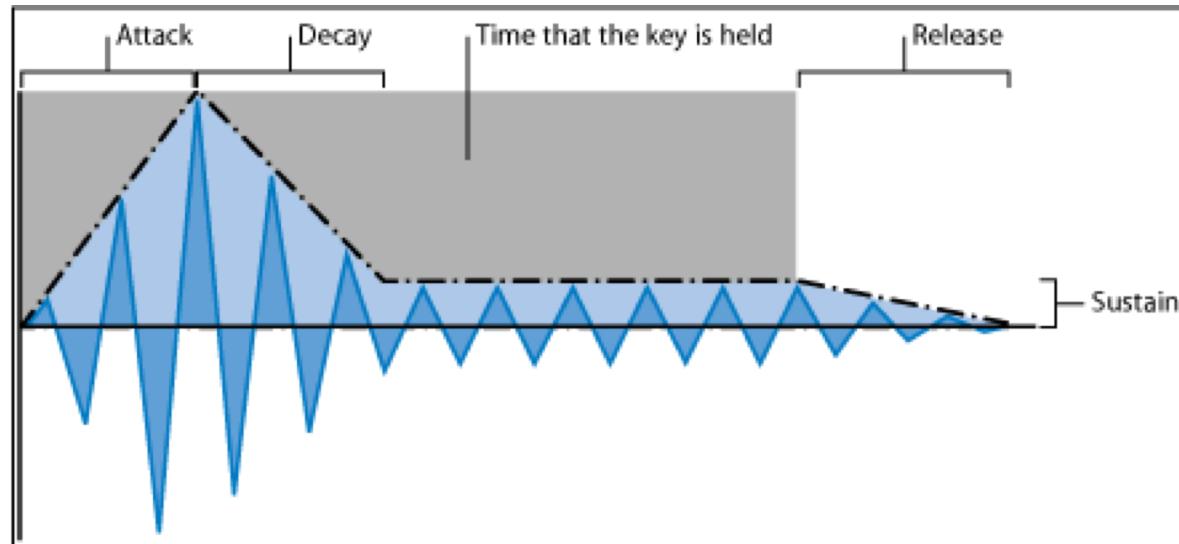
Envelopes ou Envoltórias

- Além desses estágios, também é comum caracterizar um estágio intermediário conhecido como **Decaimento**



Envelopes ou Envoltórias

- Para demarcar a fronteira destes estágios usamos um envelope, que marca a evolução da amplitude ao longo da duração da nota, isto é, o seu perfil de amplitude
- Um perfil típico é o envelope **ADSR**, constituído de tempo de **ataque**, **decaimento**, **sustentação** e **liberação**



Envelopes ou Envoltórias

- Durações típicas
 - Ataques e decaimentos: 0,05 a 0,1 segundos (50 a 100 ms)
 - Sustentação: variável, determinam praticamente a duração da nota na métrica musical
 - Liberação (colapso da nota): variável, podem ser súbitos com durações semelhantes aos ataques (embora um pouco mais longos) e se estender até 1 ou poucos segundos
 - Alguns consideram também no envelope um estágio adicional de “hold” após o ataque, de duração semelhante

Envelopes ou Envoltórias

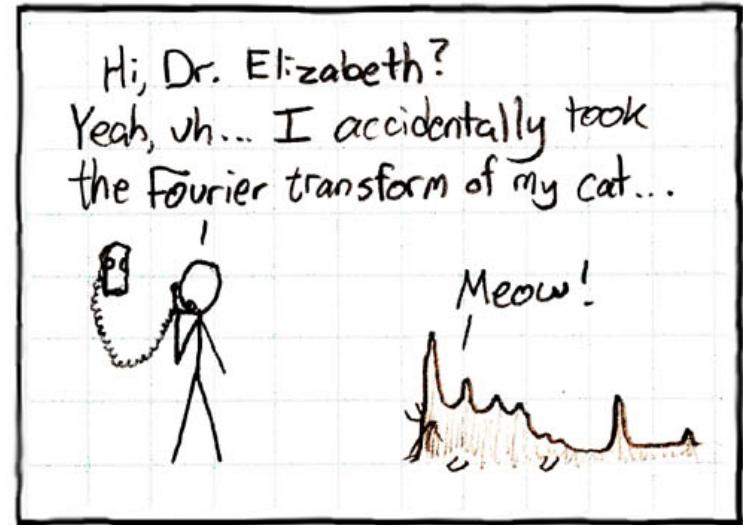
- Envelopes são constantemente gerados na *performance* do instrumento acústico pelos gestos musicais do instrumentista, e afetam a percepção de diferentes qualidades tonais que conferem múltiplas variações na sensação de amplitude e na frequência (timbre)
- Mas o envelope não é o mesmo para todas as frequências...
- Em verdade constatamos que para cada faixa de frequência f observamos um envelope distinto $E_f(t)$, o que indica que, na análise e caracterização do som, devemos rastrear a evolução no tempo de cada faixa de frequência em separado
- Isso se mostrará particularmente determinante para conseguirmos fazer sínteses artificiais realistas daquele sinal

Caracterização espectral

- Mapeando-se o conteúdo de frequências presentes no sinal em cada momento podemos caracterizar e diferenciar sons harmônicos e inarmônicos no domínio da frequência
- Existem várias técnicas para caracterização espectral de um som, isto é, identificar o conteúdo de frequências presentes no sinal sonoro, que perfazem uma *análise tempo-frequência* do sinal e permitem estudar sua composição ao longo do tempo de sua duração
- Estas técnicas lançam mão de ferramentas matemáticas chamadas *transformadas* ou *transformações* possibilitam calcular a amplitude das frequências individuais presentes no sinal

Transformada

- Uma transformada é uma operação que permite mapear o sinal de um domínio (ex: do tempo) para outro domínio (ex: da frequência), onde é mais fácil caracterizar uma propriedade do sinal
- A mais fundamental delas é baseada na teoria desenvolvida pelo matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)



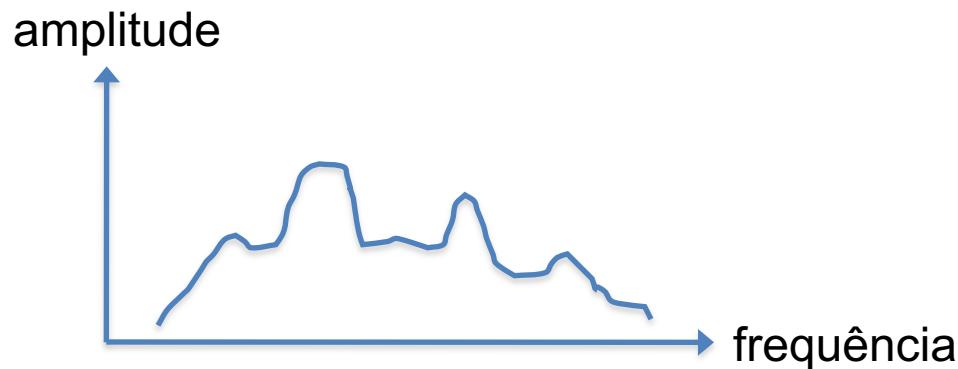
- A transformação de Fourier baseia-se no conceito de que *um sinal complexo pode ser decomposto em uma somatória de sinais senoidais (tons puros)*

Transformada Rápida de Fourier

- Embora conhecida desde a primeira metade do século XIX, a clássica Transformada de Fourier, tornou-se um instrumento popular e indispensável em análise espectral em decorrência do invento do algoritmo da *Transformada Rápida de Fourier*, a FFT (*Fast Fourier Transform*)
- Publicado primeiro por Cooley e Tukey em 1965, hoje há muitas variações, adições e versões melhoradas do algoritmo de FFT acessíveis na literatura específica
- Usando-se a FFT os programas de análise espectral calculam e constroem espectros e sonogramas/espectrogramas em tempo real

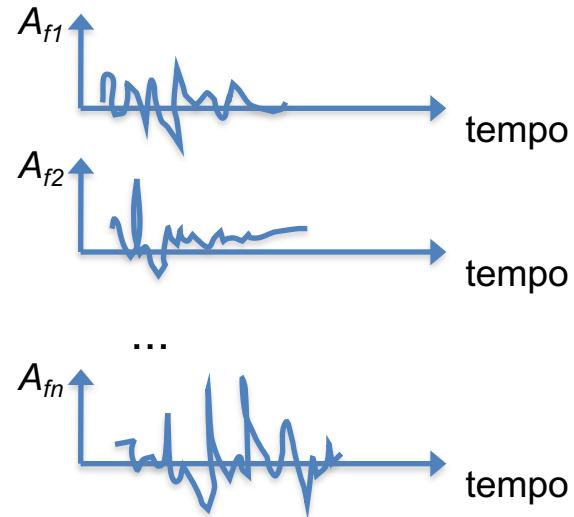
Espectros

- Ao permitirem avaliar o conteúdo de frequências de um sinal sonoro, as transformadas permitem-nos traçar os *espectros* sonoros, que são diagramas de amplitude *versus* frequência (isto é, diagramas relacionando $A \times f$)



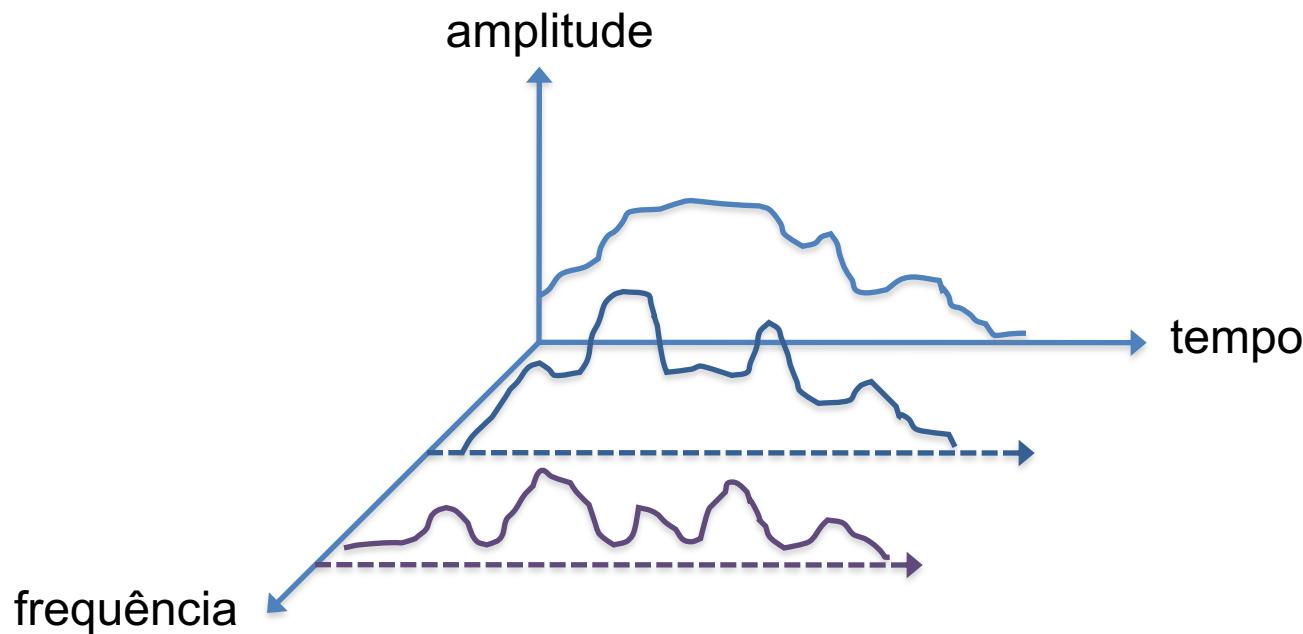
Espectro variante no tempo

- Entretanto, em sons complexos, cada frequência f terá uma intensidade $A_f(t)$ diferente a cada momento, isto é, o *conteúdo espectral é variante no tempo*
- De forma que precisamos avaliar também como o espectro do som (*isto é, $A \times f$*) varia ao longo de sua duração (*isto é, $A \times f \times t$*)



Espectrogramas

- Para isso usamos os *espectrogramas* ou *sonogramas*, ferramentas que permitem avaliar o conteúdo espectral em cada trecho do sinal ao longo do tempo, gerando diagramas que relacionam $A \times f \times t$

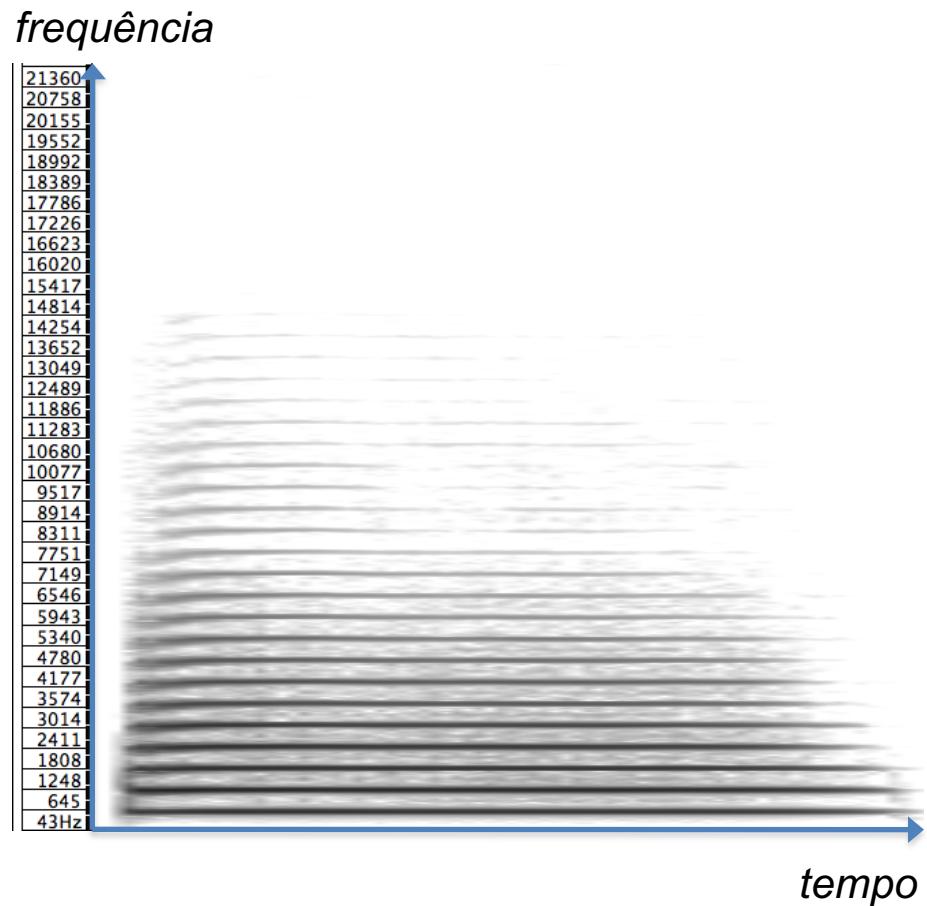
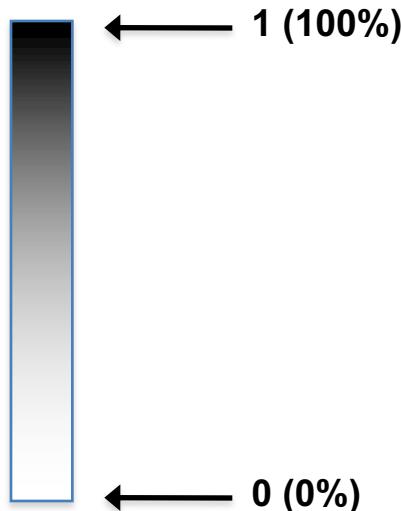


Espectrograma X Sonograma

- Vários autores usam de forma deliberada os termos espectrograma e sonograma como sinônimos.
 - Sonograma é bem usado na literatura de bioacústica.
 - Espectrograma é mais usado na literatura de processamento de sinais e computacional, empregado no MATLAB por exemplo.
- Curtis Roads cita em Computer Music Tutorial que “*um sonograma, sonógrafo, ou espectrograma é uma técnica bem conhecida para exibir o espectro bem conhecida na literatura de análise de voz...*” e que “*mostra uma visão geral do espectro de vários segundos do som*”, isto é, é uma ferramenta gráfica para exibir o espectro ao longo do tempo.
- Sonograma costuma também ser vinculado à exibição da forma de onda ao longo do tempo (isto é, *amplitude x tempo*)

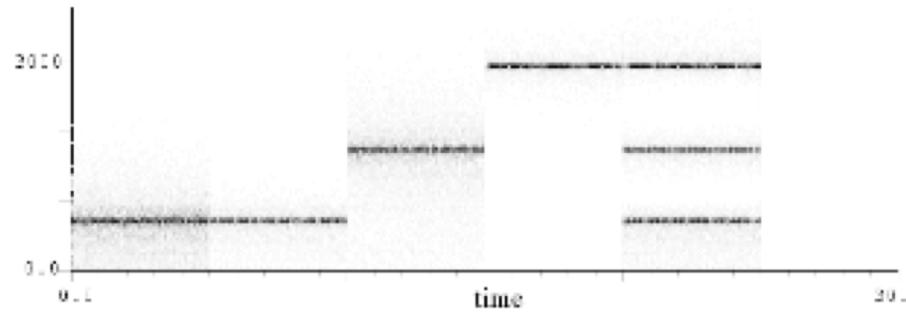
Espectrogramas em 2D

- Para traçar espectrogramas em 2D (no plano) usa-se uma estratégia para representar a *Amplitude* em gradações de cinza, indo do preto ao branco



Calculando espetrogramas

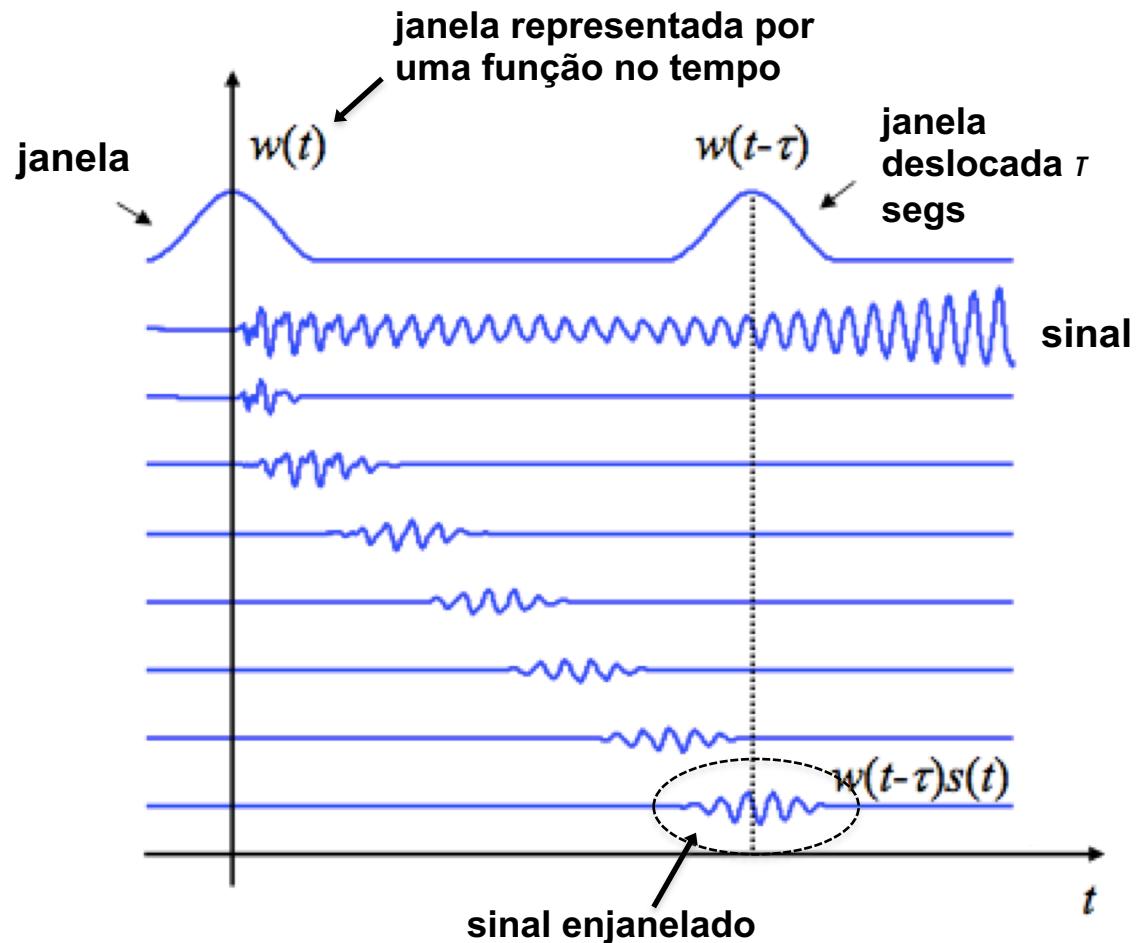
- O espetrograma revela o conteúdo de frequências em cada trecho temporal
- Como o conteúdo de frequências do som pode variar de trecho a trecho, faz-se uma *análise espectral* em uma *janela de tempo*, e então repete-se o processo sucessivamente para várias janelas
- Isto constitui um **algoritmo** de análise tempo x frequência



1. Posicione janela de leitura de largura Δ ms em $t=0$ (seleciona um trecho de Δ ms de sinal)
2. Analise as frequências neste trecho e mostre-as (gráfico)
3. Ande a janela ϵ ms à frente (posiciona a janela em $t=\epsilon$ ms, selecionando um novo trecho de Δ ms de largura)
4. Analise as frequências no trecho e mostre-as (gráfico)
5. Repita até o final do sinal

Calculando espectrogramas

- A figura ao lado ilustra este processo de *enjanelamento* de um sinal, pegando porções de cada vez para analisá-lo
- Observe que as “porções” são simplesmente obtidas pela multiplicação do sinal da janela $w(t)$ deslocada no tempo por τ segundos pelo sinal $s(t)$ que se deseja analisar, isto é: $w(t-\tau).s(t)$



Parâmetros de espectrogramas

- O resultado deste algoritmo de análise sequencial serão valores de intensidade para cada frequência, que são calculados para várias janelas de tempo, como um *mapeamento* que mostra como a intensidade de cada canal de frequência varia ao longo do tempo
- No entanto, frequentemente temos necessidade de adequar a análise para discriminar as frequências com alta resolução, ou segmentar melhor os diferentes sons. Ou então precisamos visualizar o espectrograma em uma faixa específica de frequências, usando uma escala logarítmica.
- Para podermos adequar a análise a nossos objetivos, é necessário conhecer os parâmetros técnicos a se controlar nos programas que calculam e traçam espectrogramas
- Vejamos quais são estes principais parâmetros de controle

Parâmetros de espectrogramas

- Parâmetros técnicos mais importantes dos espectrogramas:
 - 1. Tamanho ou **largura da janela de análise**, isto é, o número N de amostras de som para se analisar de cada vez. Este parâmetro determina:
 - a resolução de tempo e resolução de frequência da análise
 - o *número de colunas e de linhas* presentes na imagem de saída
 - 2. Avanço de tempo da janela de análise (**hop size**) em número de amostras, também conhecido por **fator de sobreposição** (*window overlap factor*). Este parâmetro determina:
 - a *distância entre colunas sucessivas* na imagem de saída

Parâmetros de espectrogramas

- Parâmetros técnicos mais importantes (cont.):
 - 3. Número de canais de frequência a exibir. Este parâmetro:
 - determina o número de canais de frequência para mostrar, isto é, o *número de linhas* presentes na imagem de saída, que não pode exceder à resolução imposta pela janela de análise
 - está relacionado à faixa de frequências (*range*) e o tipo de escala usadas
 - 4. Intervalo de amplitude (medida da energia contida) e tipo de escala usada (linear ou logarítmica) na representação com valores de cinza
 - 5. Intervalo de frequências (faixa de análise) e tipo de escala usada (linear ou logarítmica)
 - 6. Tipo de janela de análise (há vários tipos de janelas para discriminarem uma porção do sinal para cada passo da análise, como janelas retangulares, triangulares, gaussianas, janela de Hanning, etc.)

Exercício

- Qual a resolução temporal de 1 amostra de sinal?

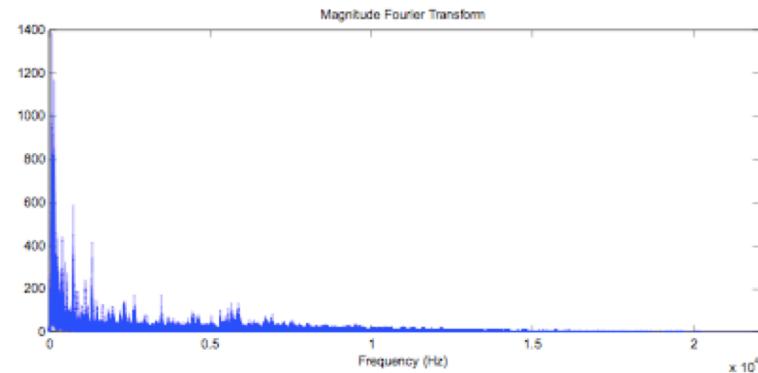
Exercício

- Qual a resolução temporal de 1 amostra de sinal?
 - Em primeiro lugar esta pergunta faz sentido quando trabalhamos com uma versão amostrada (discreta ou digitalizada) do sinal de áudio, em que está associada uma determinada taxa ou frequência de amostragem (f_a)
 - A resolução temporal será o período da amostragem, isto é o intervalo entre amostras, que é $1/f_a$
 - Exemplo: Para $f_a = 100$ amostras/segundo, 1 amostra terá resolução de $1/100$ s = 0.01 s = 10 ms

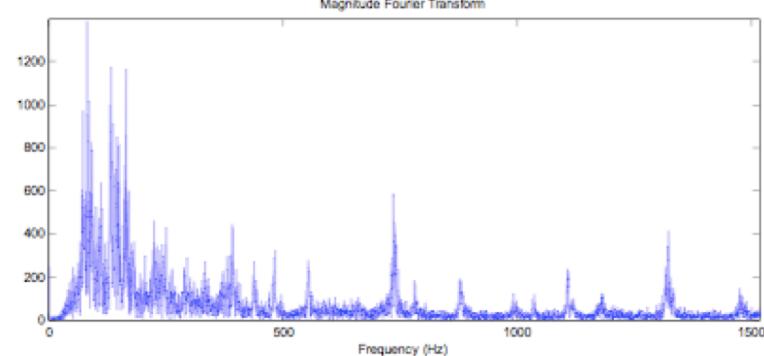
Discussão

- Por que fazemos análises espetrais de vários trechos e não do sinal inteiro?

- O **espectro obtido de um sinal inteiro** (ex: 4 minutos da música) não é particularmente revelador do que acontece a cada momento

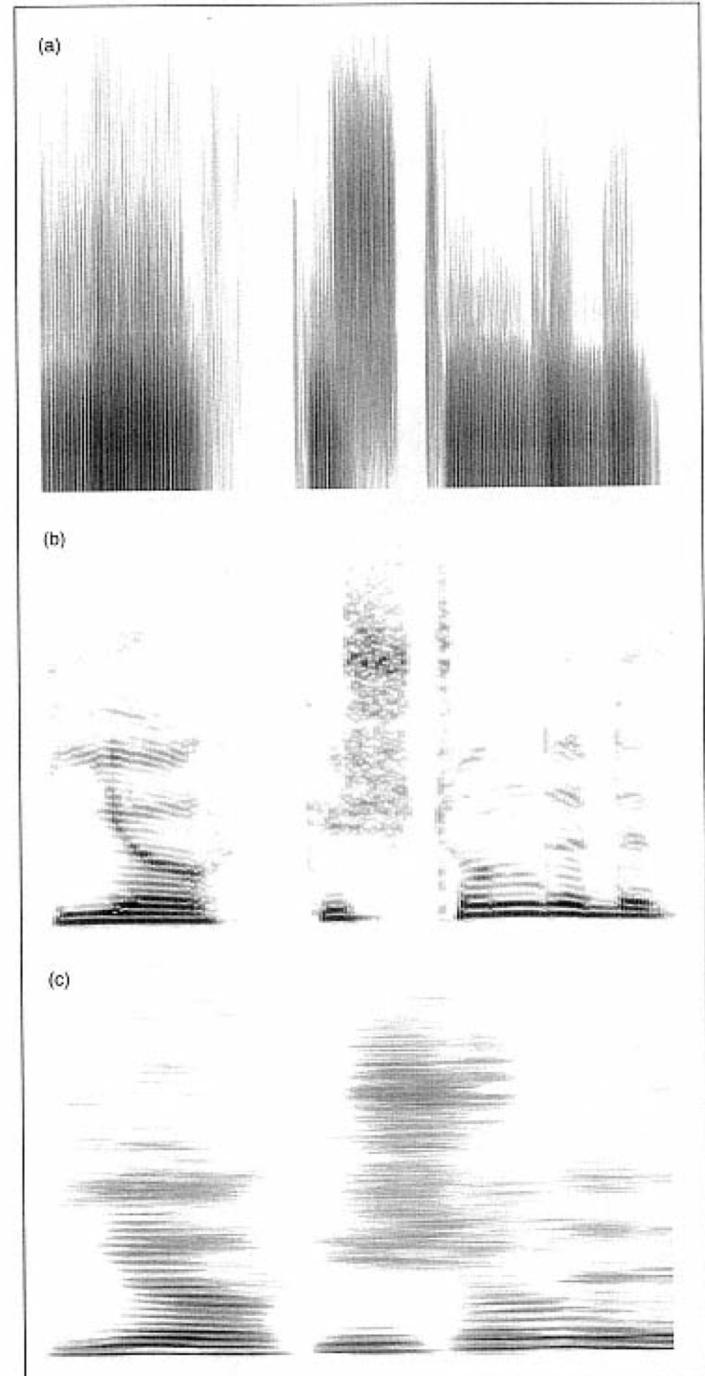


- Um **espectro de um trecho pequeno** (zoom do sinal, por exemplo uma região de ataque de uma nota) revelará mais informações úteis



Exemplos de sonogramas

- Utilizando janelas de *tempo X frequência* diferentes levam a diferentes resoluções de tempo e frequência na análise
 - (a) janela de análise 32 amostras (resolução temporal 0.725ms e frequencial 1378Hz)
 - (b) 1024 amostras (23.2ms e 43.1Hz)
 - (c) 8192 amostras (185.8ms e 5.4Hz)



Exercício

- Uma análise espectral com FFT usando uma janela de N amostras e frequência de amostragem f_a terá quanto de resolução espectral e resolução temporal?

Exercício

- Resolução espectral da análise
 - A resolução espectral é a mínima separação das frequências Hertz que nossa escala discrimina
 - Ela consiste no espaçamento (em Hertz) entre os canais ou linhas espectrais representados na análise, que será f_a/N
 - Exemplo: se $f_a = 50\text{kHz} = 50.000 \text{ amostras/s}$ e $N = 1000$ amostras, as frequências estarão espaçadas em intervalos de $50.000/1000 = 50 \text{ Hz}$. Portanto a resolução espectral será de 50 Hz.

Exercício

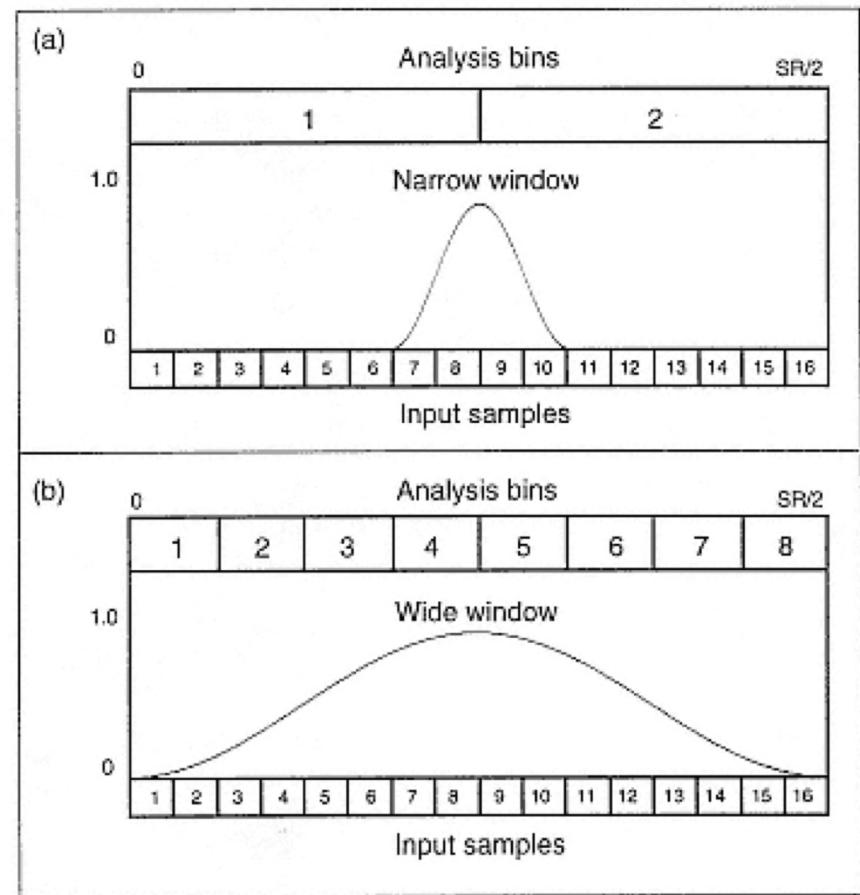
- Resolução temporal da análise
 - A análise FFT é feita por segmentos de áudio contendo N amostras, e refletirá uma leitura do que acontece neste trecho inteiro. Portanto o “átomo” ou grão fundamental de análise terá N amostras
 - Cada f_a amostras representam 1 segundo de sinal. Portanto, N amostras representarão N/f_a segundos do sinal, que será a resolução temporal da análise
 - Exemplo: Para $f_a = 50.000$ amostras/s e N = 1000 amostras, a resolução temporal será de $1000/50.000 = 0,02$ s (=20ms)
 - Outro exemplo: Para $f_a = 44100$ e N=1024, a resolução temporal será de $1024/44100 = 0,0232$ s (=23.2ms)

Resolução da análise

- Pelos exemplos vistos, observamos que a *Resolução temporal é o inverso da Resolução espectral* (ou frequencial) da análise
 - Se a resolução temporal for 23.2 ms, a resolução espectral será o inverso, isto é, $1/0,0232 = 43,1$ Hz
 - Isto nos diz que há um *compromisso* na análise entre resolução espectral e temporal: ao aumentar uma, a outra sempre diminuirá
 - Além disso, como os sinais de áudio estão limitados à metade da frequência de amostragem f_a , nos importaremos somente com a metade dos canais de frequência. Neste exemplo, com $N/2 = 500$ canais, cobrindo de 0 Hz até 25.000 Hz

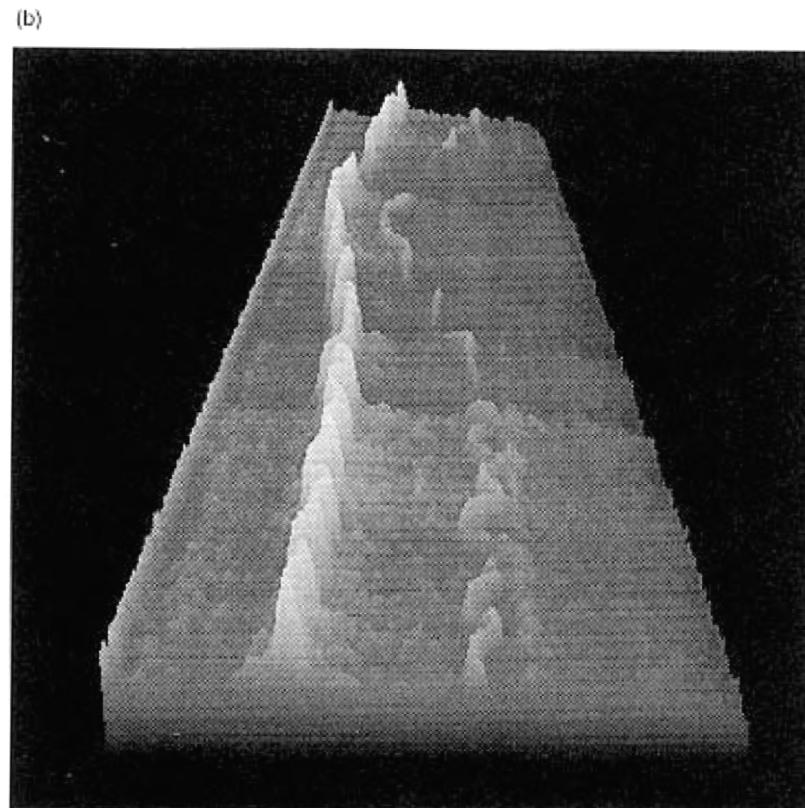
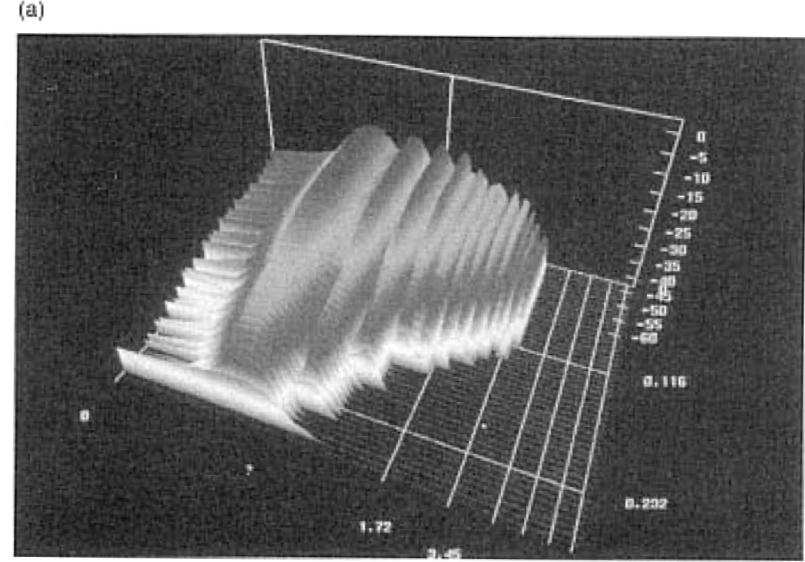
Compromisso de resolução

- A figura ao lado mostra a relação entre largura da janela (N) e o número de canais de frequência (chamados de *bins*)
- (a) uma janela estreita demais, com só 4 amostras, pode resolver somente 2 frequências
- (b) uma janela mais larga, com 16 amostras, já divide o espectro em 8 bins



Espectrogramas 3D

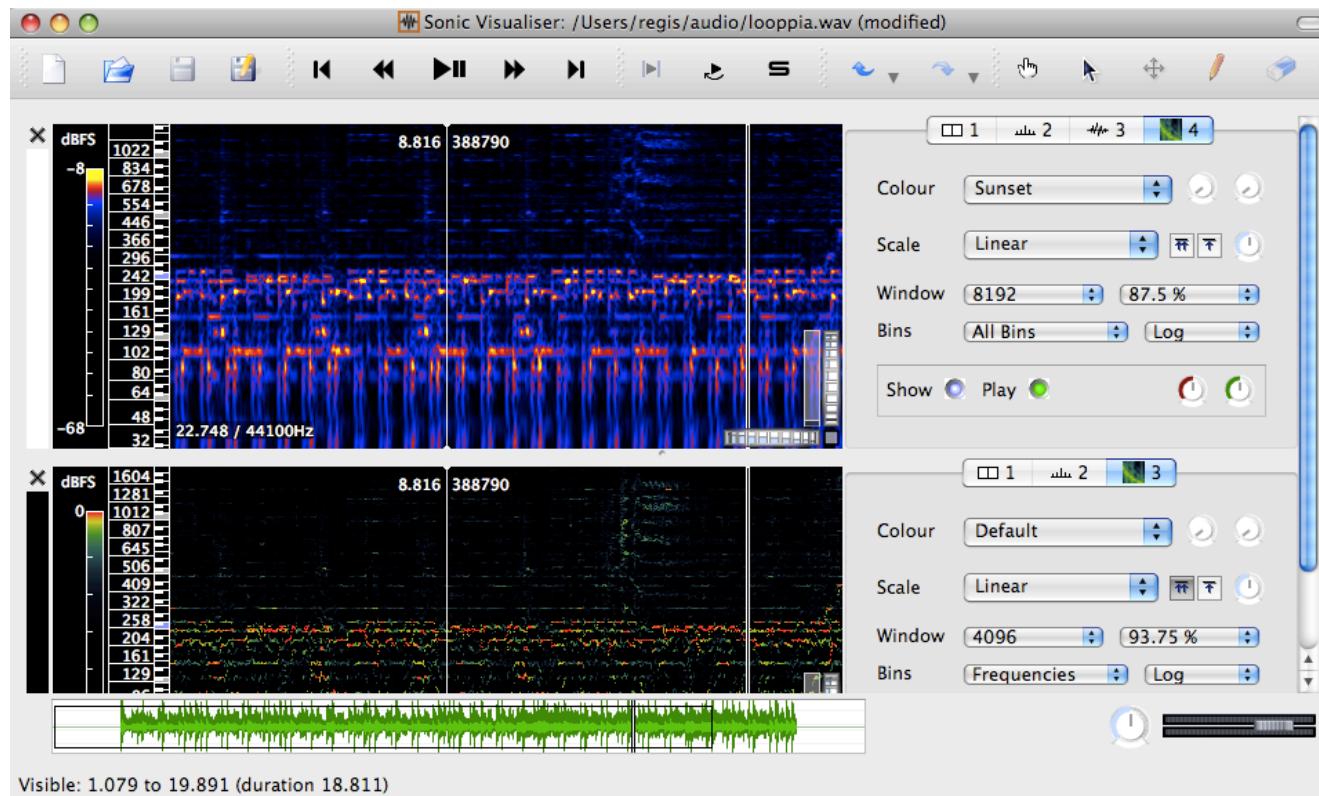
- Imagens 3D (tempo x frequência x intensidade) de espectrogramas são chamadas “*waterfall*”
- (a) Nota de trompete sintético. Tempo (fundo p/ frente) c/ tempo mais recente à frente. Escala de frequência logarítmica (esquerda p/ direita). Freq. Fundamental ~ 1 kHz. Amplitude plotada verticalmente em escala dB logarítmica.
- (b) Melodia vocal. Tempo (fundo p/ frente, mais recente à frente). Frequências mais baixas à esquerda.



Imagens: A. Peevers, Center for New Music and Art Technologies, University of California, Berkeley

Exemplo de software p/ espectrogramas

- Há vários programas que fazem e exibem espectrogramas. Um exemplo é o *Sonic Visualiser* desenvolvido no Centro de Música Digital da Queen Mary University



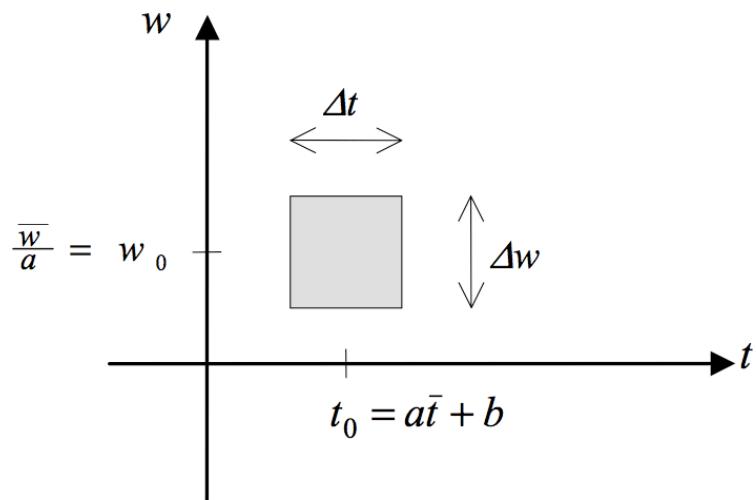
Free download: <http://www.sonicvisualiser.org/download.html>

Outras técnicas

- Existem ainda outras técnicas de análise espectral como
 - Coclograma (Roads)
 - Análise cepstral (*cepstrum*)
 - Análise de signal com a distribuição de Wigner
 - Transformada Wavelets (TW)
 - Baseada na análise de grãos espaço-tempo e análise multiresolução, que utilizam como ondas base sinais não-senoidais
- Tanto as transformações de Fourier (TF) quanto as de Wavelets (TW) levam a implementações de análise em tempo-frequência

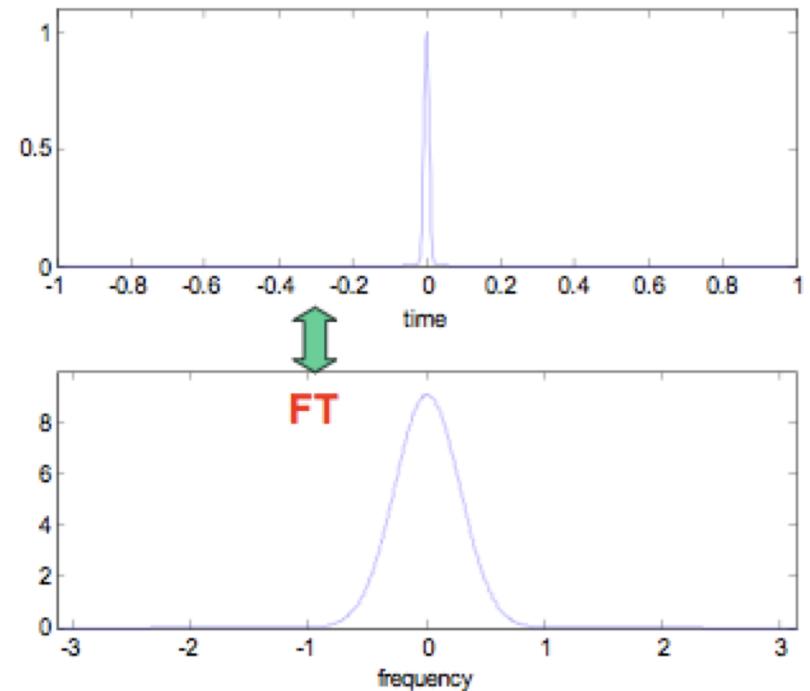
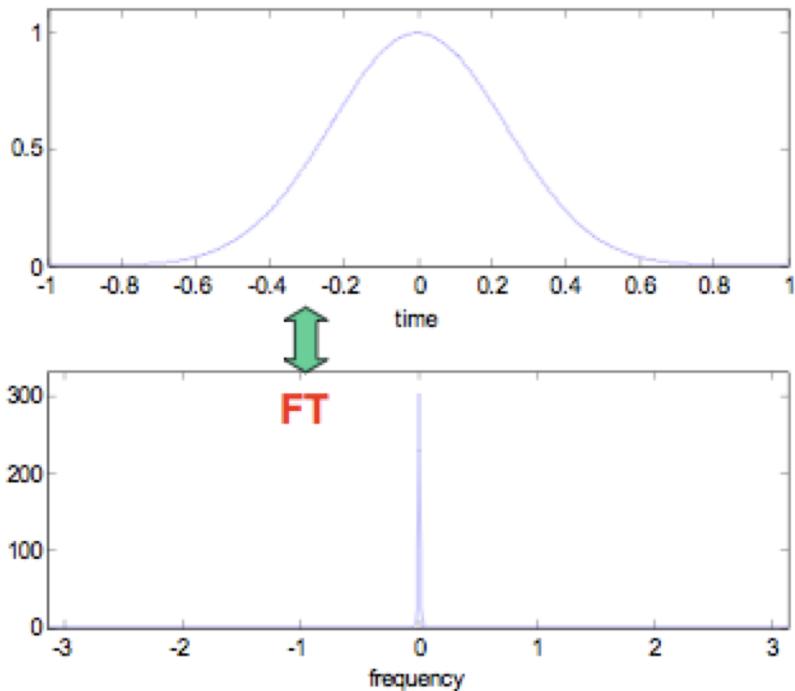
Análise tempo-frequência

- Numa análise tempo-frequência o sinal analisado pode ser expresso por meio de uma combinação linear de átomos de tempo-frequência, caracterizados por uma janela de duração finita no tempo (Δt) e uma janela de extensão finita na frequência (Δw)
- Funções não podem ao mesmo tempo serem limitadas no tempo e na frequência, bem como serem simultaneamente determinadas com precisão no tempo e na frequência
- Isso quer dizer que os “átomos” extraem informações sobre o sinal analisado que estejam contidas nos intervalos de tempo e frequência delimitados acima, localizando desta forma porções específicas do sinal no espaço tempo-frequência



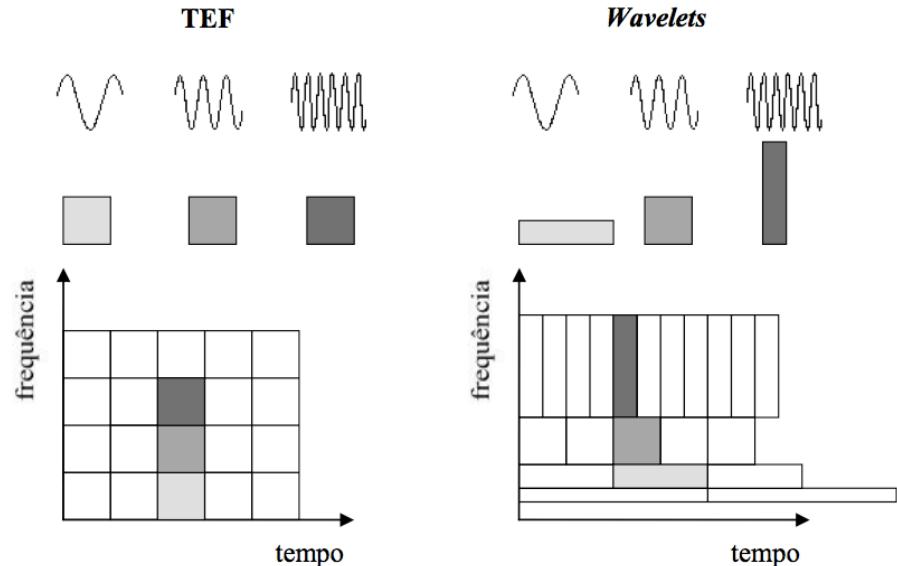
Análise tempo-frequência

- Tempo e frequência, em verdade, são *variáveis conjugadas*
 - Quanto mais curto o sinal no tempo, mais largo será seu espectro na frequência, e vice-versa



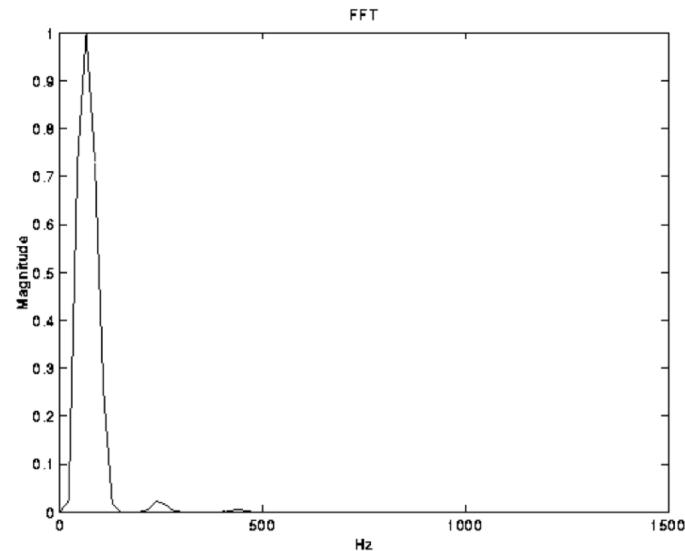
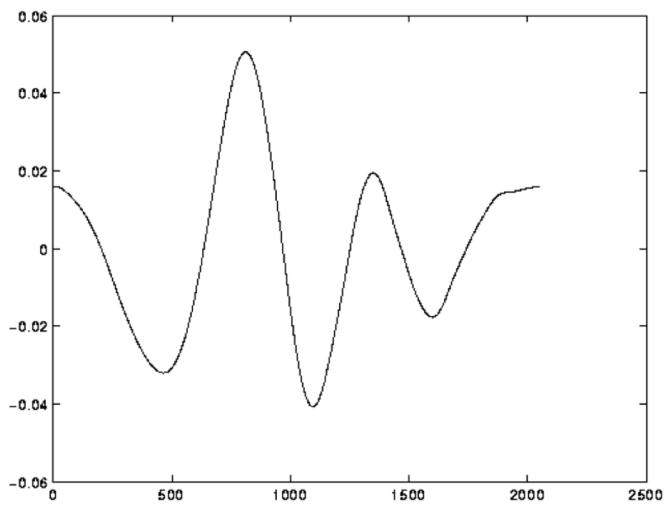
Análise tempo-frequência

- As diferenças entre os átomos da TF e da TW é que nesta, ao invés de uma variável frequência (w), temos uma variável escala (a), e em cada escala as janelas de tempo-frequência tem tamanhos diferentes
- Quando se analisa frequências mais altas a resolução temporal é mais fina do que quando se analisa em frequências baixas
- Já a resolução em frequência fica melhor nas frequências mais baixas, onde a segmentação do espectro é mais fina e resolvida do que em altas frequências



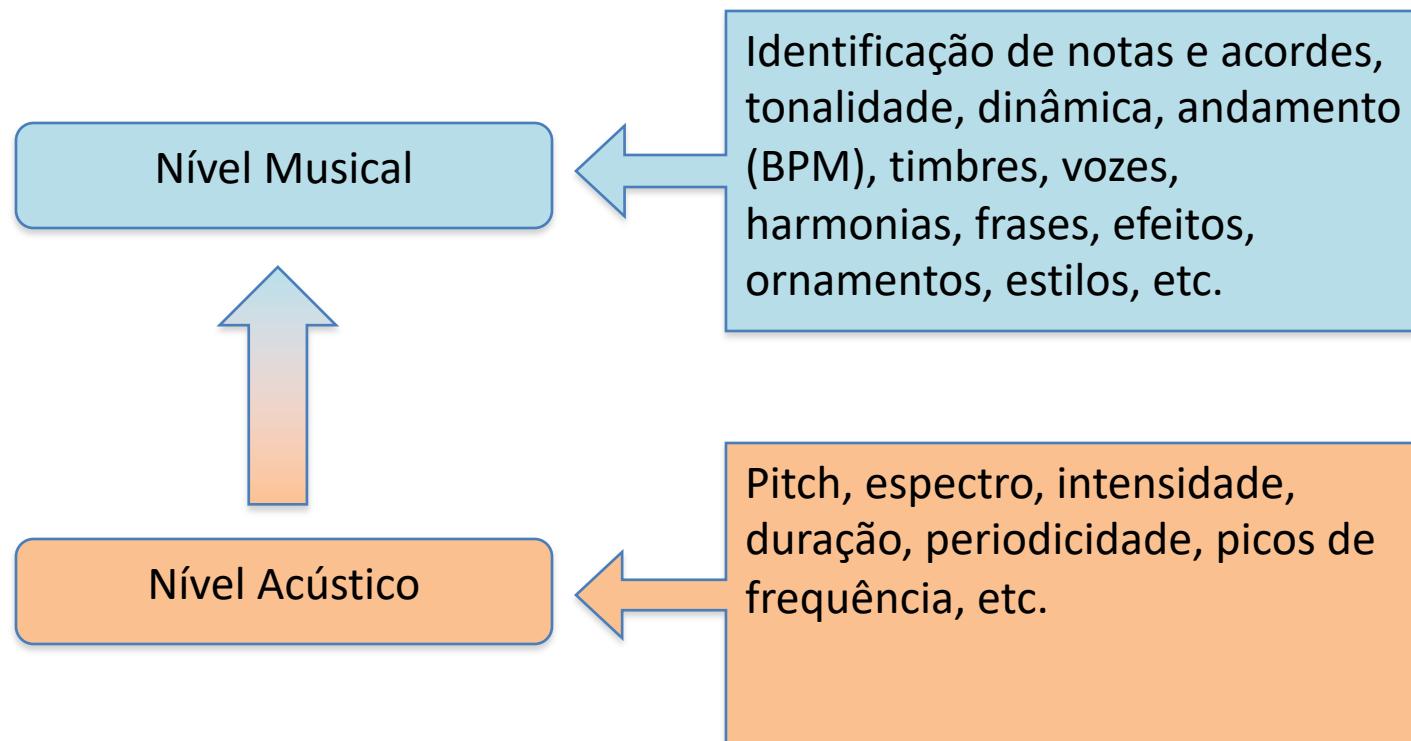
Análise tempo-frequência

- Uma outra diferença fundamental entre TF e TW é que na primeira as funções de análise são senóides e na segunda, as funções de análise são formas de onda pequenas – as wavelets
- De certo modo pode-se dizer que a análise estima o quanto de similaridade ou correlação existe entre o sinal analisado e a função base da análise
- A figura abaixo mostra uma wavelet do tipo D16 e sua cobertura espectral



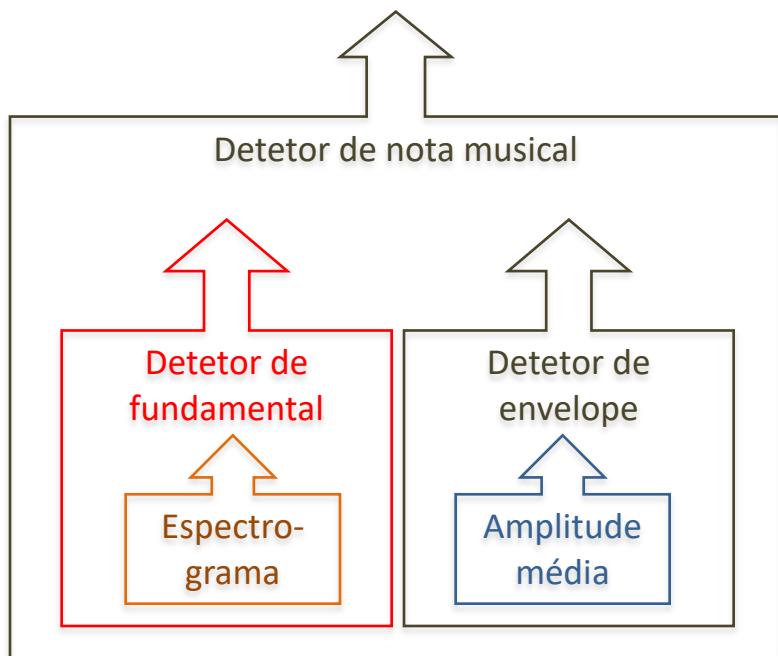
Análise Musical

- A análise musical trata de extrair informações de nível semântico mais alto, de relevância musical, a partir de informações do nível de sinal (nível acústico, mais baixo)



Análise Musical

- Para estimar aspectos musicais a partir do sinal sonoro as ferramentas computacionais utilizam diversas técnicas de análise combinadas em diversos níveis de análise
- Os blocos mais fundamentais nesta cadeia extraem informações elementares, como por exemplo intensidade e conteúdo espectral
- Blocos mais complexos usam blocos fundamentais p/ obter informações de nível semântico mais alto, como por exemplo determinar a frequência fundamental p/ estimar a tonalidade de uma nota
- Estes blocos são chamados de *Descritores*, por descreverem uma propriedade ou característica do sinal



Análise Musical

- Descritores sonoros e musicais
 - Em um programa de análise musical funções de nível semântico mais alto (mais complexos) usem funções de nível mais baixo (mais básicos) para extrair, estimar, e determinar uma série de informações de relevância musical
 - Tipicamente descritores de nível mais baixo extraem características do sinal, como conteúdo de frequência ao longo do tempo, amplitude e velocidade de sua alteração no tempo, energia do sinal, etc.

Análise Musical

- Descritores sonoros e musicais
 - Estas informações são subsequentemente usadas por descritores de nível mais alto para determinar e medir características de nível semântico mais alto, como notas e frases musicais, tipos de ataques, dinâmica, existência de efeitos durante a sustentação, a ocorrência de eventos específicos, gestos musicais, desvios de tonalidade, ruídos e artefatos, etc.
- As ferramentas para isso estão dentro do contexto da área de pesquisa MIR (*Musical Information Retrieval*) e na sua maioria são desenvolvidas sob demanda, para cada tipo de análise desejada.

Análise Musical

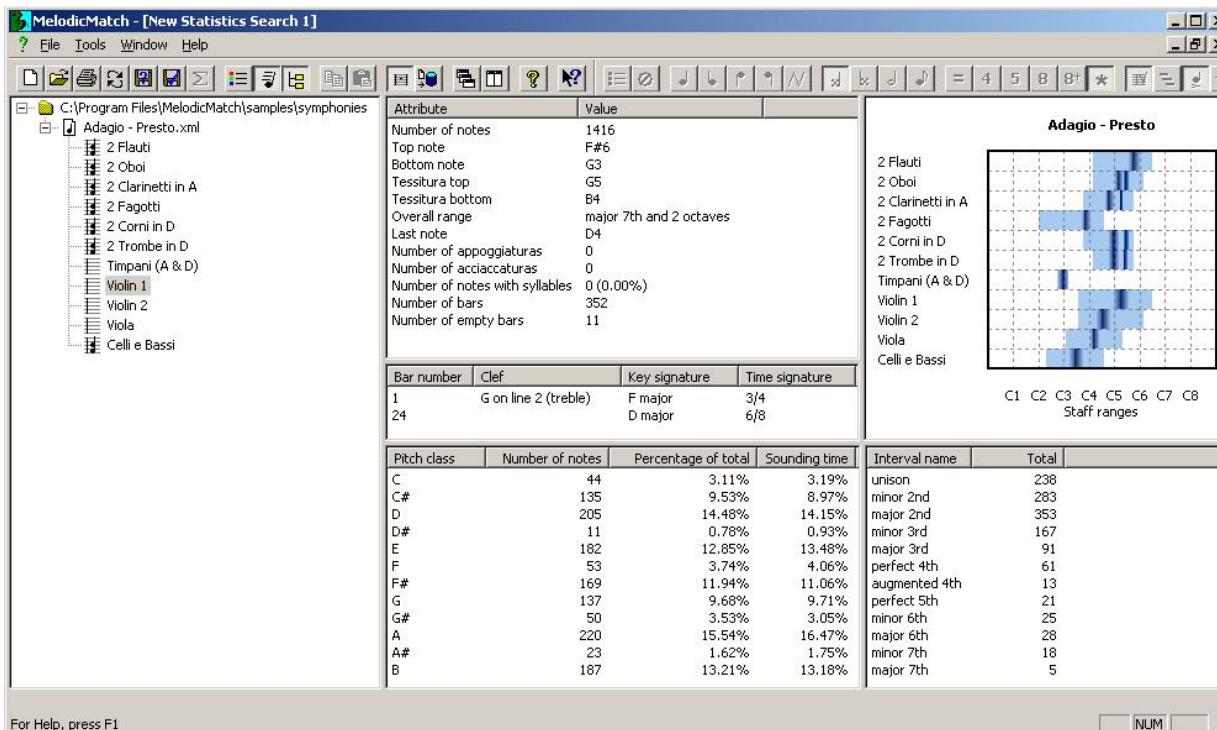
- Exemplos de características musicais mais comuns que estas ferramentas são capazes de identificar, rastrear e medir e extrair:
 - Linhas melódicas (formas originais, inversões, sequências, transposições)
 - Linhas rítmicas (independente do contorno de intervalos)
 - Articulações (gestos musicais, rastreados por meio de um padrão modelo)
 - Padrões melódicos e harmônicos (a partir de um modelo de referência dado)
 - Estatísticas simples (número de notas de uma voz, apogiaturas, compassos, frequência de uma determinada nota)
 - Tonalidades e modos

Análise Musical

- Exemplos de características musicais mais comuns que estas ferramentas são capazes de identificar, rastrear e medir e extrair:
 - Timbres
 - Vozes
 - Andamento (*beats/minuto ou BPM*)
 - Notas e acordes
 - Efeitos (vibratos, reverberação, etc.)
 - Frases e linhas melódicas (pela análise das notas que um determinado timbre está tocando ao longo do tempo)
 - Formas e harmonias
 - Estilo musical (analisando a distribuição estatística de formas musicais que o caracterizam), etc.

Análise Musical

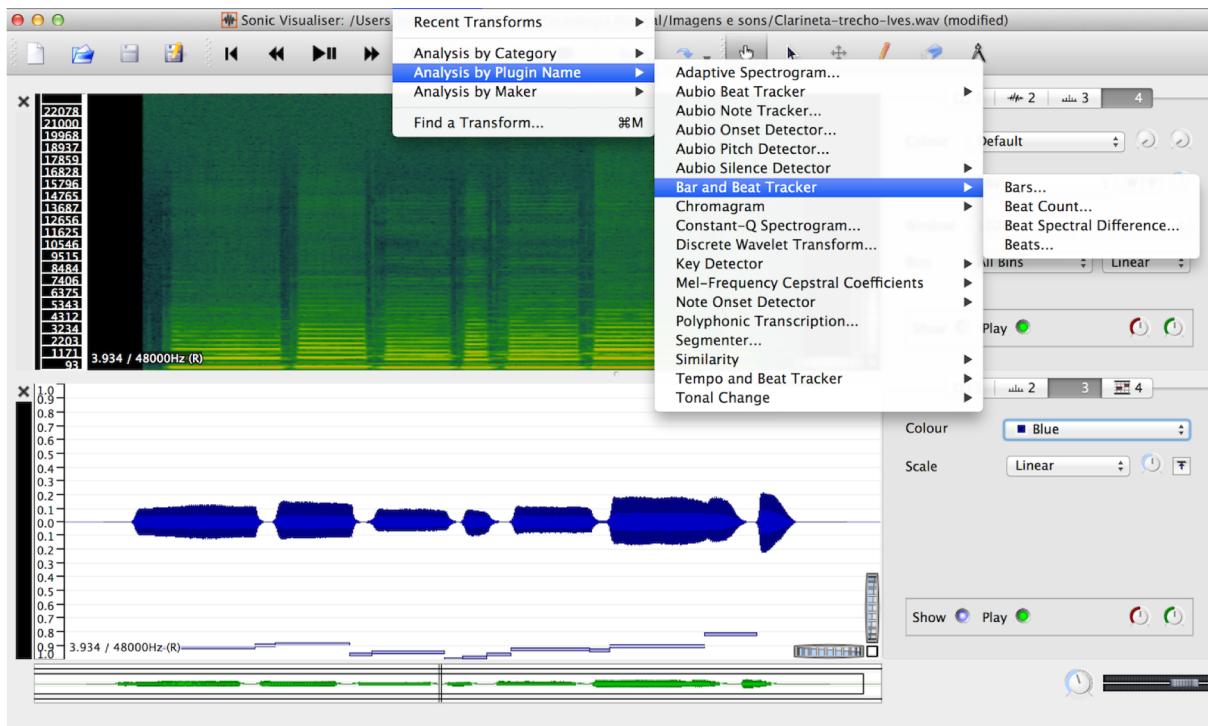
- Atualmente há programas comerciais e livres que oferecem um amplo leque de opções de análise para musicólogos, arquivistas, pesquisadores, professores, estudantes de performance, etc.
- Exemplo de uma ferramenta: MelodicMatch (www.melodicmatch.com)



Este programa obtém uma série de estatísticas sobre uma peça analisada, como frequência de notas, número de compassos, ocorrência de intervalos, etc.

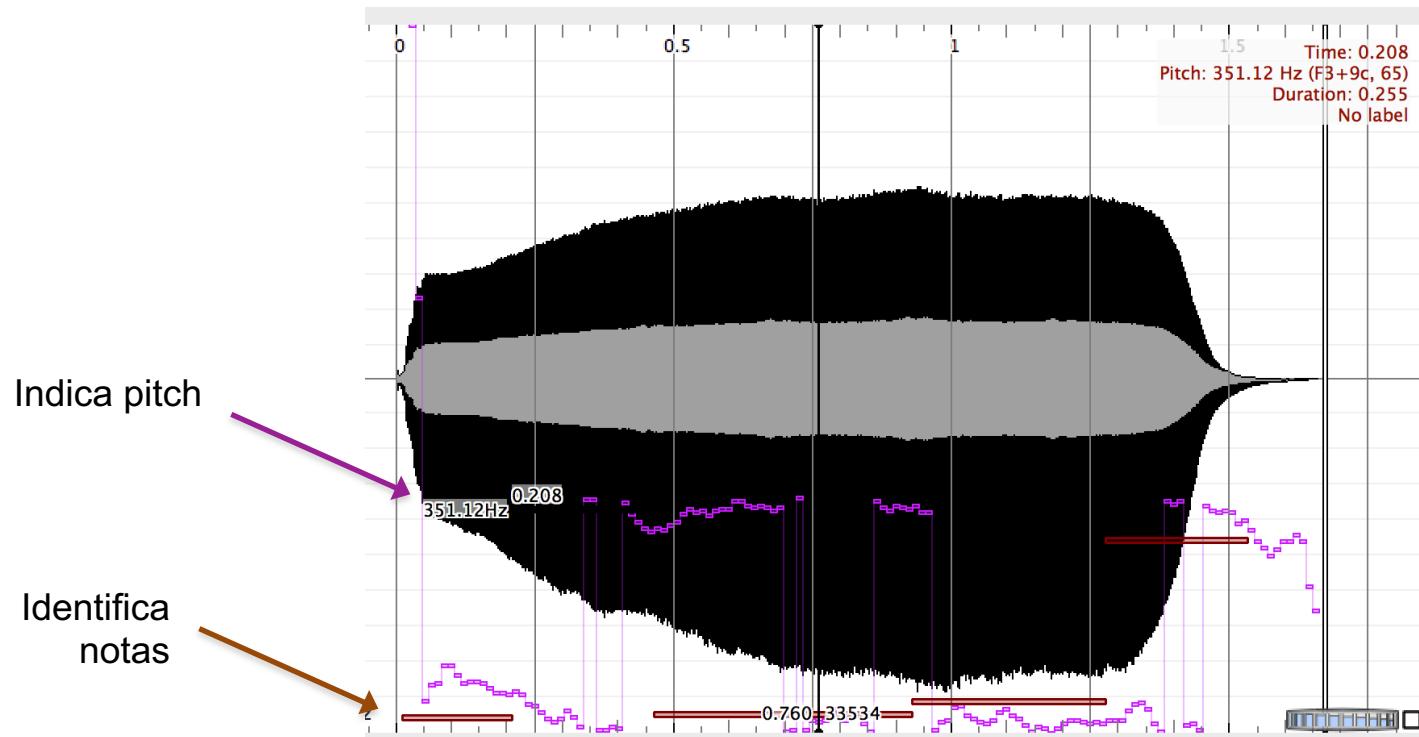
Análise Musical

- Funções de análise musical são frequentemente implementadas na forma de *plugins* que funcionam vinculados a um programa hospedeiro
- Um exemplo são os *plugins* de análise *Vamp* que funcionam integrados ao programa Sonic Visualiser, que permitem detectar ataques e segmentar notas, obter o andamento (BPM), determinar tonalidade, etc.



Análise Musical

- Exemplo de uma análise: usando as funções no *Sonic Visualiser* podemos identificar notas em um trecho de áudio gravado, verificar sua tonalidade, duração, e avaliar a estabilidade do *pitch* durante sua emissão.



Considerações finais

- Diversos algoritmos para processamento e manipulação de sinais discretos surgiram em decorrência da pesquisa estimulada pelo advento da computação digital no séc. 20
- Nenhum tipo de técnica de caracterização espectral irá servir para todos os propósitos em análise musical: compromissos entre limitações, recursos e resoluções sempre devem ser admitidos
 - Ex: para caracterizar ataques, janelas de 50 ms serão mais apropriadas do que janelas de 500 ms, que excede o tempo dos ataques típicos
 - Ex: um espectrograma de extrema alta-resolução de frequência não exibirá uma alta resolução temporal

Reflexões sobre uma análise

- Caracterização e avaliação métrica de uma *performance* para propósitos de comparação entre *performances* ou avaliação de sua correção: avaliar se a pauta para clarineta foi realmente tocada no trecho de áudio abaixo

The image shows a musical score and its corresponding audio waveform. The score consists of two staves: 'Clarinet' and 'Oboe'. Both staves are in 4/4 time and G clef. The Clarinet staff has a dynamic marking 'f' at the beginning and 'mf' with a crescendo arrow at the end. The Oboe staff also has a dynamic marking 'f' at the beginning and 'mf' with a crescendo arrow at the end. The music includes various notes and rests, with some notes having grace marks. Below the score is a gray rectangular area containing a blue audio waveform. The waveform shows several distinct segments of varying amplitudes, corresponding to the notes and rests in the musical score.

- Questão: Quais seriam os passos que você tomaria para analisar o trecho de áudio gravado acima e verificar a conformidade da execução à pauta?

Revisão do módulo

- Revisamos os parâmetros básicos do som e vimos os fundamentos essenciais usados na caracterização sonora nos domínios do tempo e da frequência
- Conhecemos a técnica de análise espectral que é um dos principais métodos de caracterização sonora e ferramentas como programas para extrair o espectrograma e dados da distribuição espectral dos sinais sonoros e musicais
- Discutimos como os parâmetros da análise são articulados para diferentes propósitos da análise
- Vimos exemplos de análise de sinais musicais extraindo informações sobre *pitch* e caracterização de notas musicais

eof